

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

# **Priročnik za uporabo merilnika Artec MHT**

Žiga Stopinšek

MENTORJA: prof. dr. Franc Solina  
in mag. Miran Erič

Ljubljana 2012

# Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Osnovne informacije</b>	<b>5</b>
2.1	Artec MHT . . . . .	5
2.2	Artec Studio 8 . . . . .	7
2.3	Povzetek . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Snemanje</b>	<b>10</b>
3.1	Predpriprava . . . . .	10
3.1.1	Obvezna oprema . . . . .	10
3.1.2	Dodatna oprema . . . . .	10
3.1.3	Načrt snemanja . . . . .	12
3.1.4	Izbira prostora in časa . . . . .	13
3.1.5	Izbira objekta . . . . .	14
3.1.6	Prilagoditve . . . . .	15
3.2	Snemanje - prvi koraki . . . . .	18
3.3	Potek dela in dobra praksa . . . . .	18
3.3.1	Gibanje merilnika . . . . .	18
3.3.2	Pravilo 3/7 . . . . .	18
3.3.3	Manjši negibni objekti . . . . .	18
3.3.4	Večji negibni objekti . . . . .	19
3.3.5	Objekti v gibanju . . . . .	19
3.4	Izguba sledi . . . . .	19
3.5	Prilagoditve med snemanjem . . . . .	20
3.6	Triki in nasveti . . . . .	21
3.6.1	Za nemoteno snemanje . . . . .	21
3.6.2	Za snemanje večjih objektov . . . . .	21
3.7	Povzetek . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Modeliranje</b>	<b>23</b>
4.1	Prvi koraki . . . . .	23
4.1.1	Desni modul . . . . .	23
4.2	Urejanje . . . . .	24
4.2.1	Orodje za transformacije . . . . .	25
4.2.2	Radirka . . . . .	25
4.2.3	Glajenje . . . . .	26
4.3	Poravnava in združevanje . . . . .	26
4.3.1	Ročna poravnava . . . . .	26
4.3.2	Avtomatska poravnava . . . . .	26

4.3.3	Prostorske težave . . . . .	29
4.4	Orodja za registracijo in procesiranje . . . . .	29
4.4.1	Registracija . . . . .	29
4.4.2	Post-procesiranje . . . . .	30
4.5	Teksture . . . . .	30
4.5.1	Razlike med algoritmi . . . . .	31
4.6	Uvažanje in izvažanje . . . . .	31
4.6.1	Izvažanje in uvažanje zajemov . . . . .	31
4.6.2	Izvažanje fuzij . . . . .	32
4.7	Ogled in predstavitev podatkov . . . . .	32
4.7.1	Namizni programi . . . . .	32
4.7.2	Možnosti na spletu . . . . .	32
4.8	Triki in nasveti . . . . .	33
4.8.1	Splošno . . . . .	33
4.8.2	Pri urejanju in post-procesiranju . . . . .	33
4.8.3	Pri poravnavi in registraciji . . . . .	33
4.9	Povzetek . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Predlog standardne dokumentacije</b>	<b>36</b>
5.1	Načrt snemanja . . . . .	36
5.1.1	Večji objekti . . . . .	36
5.1.2	Srednje veliki in manjši objekti . . . . .	36
5.2	Proces snemanja . . . . .	37
5.3	Proces modeliranja . . . . .	37
5.4	Shranjevanje podatka . . . . .	38
5.5	Priprava statističnih informacij . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Sklep</b>	<b>40</b>
	<b>Terminološki slovar</b>	<b>41</b>
	<b>Literatura</b>	<b>44</b>

# Poglavje 1

## Uvod

Osnovne informacije o uporabi merilnika Artec MHT (v nadaljevanju merilnik MHT) najdemo v Artec 3D Studio v0.7 Users Guide [1] (v nadaljevanju vgrajena pomoč), ki je integriran v program Artec Studio 8 (v nadaljevanju program ali program Artec Studio). Prav tako lahko pišemo na Artec podporo ([support@artec-group.com](mailto:support@artec-group.com)). Veliko informacij o uporabnosti lahko dobimo tudi na spletni strani Arteca (<http://www.artec3d.com/>).

Zato namen tega priročnika ni opis programa ali obnova vgrajene pomoči, ampak je namen dopolnitev osnovne literature z informacijami o poteku merjenja, dopolnitev z nasveti pri poznejšem modeliranju zajetih podatkov in na hitro pripraviti novega uporabnika za delo z merilnikom. Najpomembnejše informacije iz vgrajene pomoči bodo tukaj tudi povzete. Kot opozorilo velja omeniti, da je integrirana pomoč napisana za program Artec Studio 7 in je v določenih točkah zastarela.



## Poglavje 2

# Osnovne informacije

V življenjskem ciklu našega modela so 3D podatki predstavljeni kot objekti dveh različnih vrst:

1. zajem (podatki so v surovi obliki, predstavljeni kot oblak točk),
2. fuzija (predelan oblak točk, predstavljen kot triangulirana mreža).

V programu Artec Studio so zajemi (*scan*) sestavljeni iz okvirjev (*frame*), ki v resnici predstavljajo zajet oblak točk. Prav tako so v določenih okvirjih zajete teksture v obliki fotografije. Artec Group imenuje triangulirano mrežo fuzija zato, ker združi vse zajete površine (ki se med sabo pogosto nekajkrat prekrivajo) v eno skupno, poenostavljeno mrežo trikotnikov - fuzijo.

Najočitnejše razlike med objektom, predstavljenim kot oblak točk, in tistim, predstavljenim kot fuzija, sta velikost in natančnost. Zajem, ki je velik čez 1 GB, lahko predstavimo kot model z nekaj deset megabajti, vendar s tem izgubimo natančnost in točno pozicijo točk. Točke v zajemu so prav tiste, ki so bile zajete, v fuziji pa so izračunane glede na površino. Fuzije ni več mogoče pretvoriti nazaj v oblak točk.

### 2.1 Artec MHT

Artec MHT je 3D merilnik (slika 2.1a), ki poleg 3D podatkov zajema tudi teksturo objekta. Deluje po principu bele svetlobe tako, da objekt osvetli z znanimi vzorci in na podlagi deformacije vzorcev izračuna 3D obliko objekta. Je hiter in zajema s hitrostjo do 15 okvirjev na sekundo.

Tehnične podrobnosti [2] merilnika MHT so navedene v tabeli 2.1. Specifikacijo merilnika je pomembno poznati zaradi vrste različnih problemov. Če smo zadovoljni z resolucijo, če potrebujemo hiter zajem podatkov, če nam ustrezata zorni kot in razpon zajema, če želimo zajemati tudi teksturo, potem je naša izbira ustrezna.

Specifikacija programske opreme (tabela 2.2) je tudi pomembna, saj je obdelava tridimenzionalnih podatkov prostorsko in časovno zahtevna operacija, zato moramo izbrati tudi ustrezen računalnik. Če je naše delo predvsem na terenu, potrebujemo zmogljivi prenosnik, sicer lahko uporabljamo tudi stacionarni računalnik, ki je navadno s podobnimi računalniškimi komponentami ugodnejši.

Artec MHT trenutno ni več podprt iz strani Artec Group, saj ima novega naslednika, merilnik Artec EVA (slika 2.1b). Merilnik EVA dosega hitrosti do 16 fps, ima drugačne dimenzije in potrebuje za povezavo z računalnikom le en priključek USB.

Družba Artec Inc. ponuja še tri merilnike, ki pa ne morejo zajemati tekstur:

- merilnik Artec S, primeren za manjše predmete
- merilnik Artec M, primeren za srednje velike predmete (človeška noga)

- merilnik Artec L, primeren za večje predmete (odrasla oseba)



(a) Merilnik Artec MHT.



(b) Merilnik Artec EVA.

Slika 2.1: Artecova merilnika z možnostjo zajema teksture [2].

Vsi Artecovi merilniki uporabljajo belo svetlobo namesto laserja. Razlik je več, pomembnejše pa so:

- merilniki z belo svetlobo so ugodnejši z laserskimi merilniki
- bela svetloba ni nevarna za oči (nekatera laserska je)
- merilniki z belo svetlobo nimajo velikega razpona zajema ali širšega zornega kota, saj se z razdaljo hitreje izgublja natančnost kot pri laserju

#### Specifikacija merilnika

3D resolucija	do 0,5 mm
3D točkovna natančnost	0,1 mm
3D natančnost na razdaljo	do 0,15% na 100 cm
Resolucija tekstur	1,3 mp
Barve	24 bpp
Vir svetlobe	bliskavica (ni laserja)
Razpon zajema	od 0,4 m do 1 m
Vidno polje minimalne razdalje (DxŠ)	214 mm x 148 mm
Vidno polje maksimalne razdalje (DxŠ)	536 mm x 371 mm
Vidno polje	30 x 21°
Hitrost zajema	do 15 fps
Izpostavljenost	0.0002 s
Hitrost pridobivanja podatkov	do 288.000 točk/s
Dimenzije (VxDxŠ)	180 x 187 x 260 mm
Masa	1.6 kg
Energija	12V, 40W
Vmesnik	2x USB2.0
Kalibracija	ni potrebe po dodatni opremi

Tabela 2.1: Tehnične podrobnosti Artec MHT merilnika.

#### Specifikacija programske opreme

Izkoriščanje večjedrnosti procesorjev	Ja
Izvoz v formatih	OBJ, PTX, STL, WRML, ASCII, AOP, CSV, PLY *
Kapaciteta RAM	40.000.000 trikotnikov/1GB RAM
Podprti OS	Windows Vista x64, Windows 7 x64
Minimalne sistemske zahteve	Intel Core Quade (priporočljiv I5 ali I7), 8Gb RAM, NVIDIA GeForce 9000

Tabela 2.2: Tehnične podrobnosti Artec MHT merilnika.

## 2.2 Artec Studio 8

Delo z merilnikom, meritve in obdelava podatkov poteka s pomočjo priloženega programa Artec Studio 8 (slika 2.2). Ima vgrajeno pomoč, ki si jo lahko ogledamo s pritiskom na tipko F1.

Okno lahko razdelimo na tri dele: levi modul, desni modul in modul na dnu. Levi modul pokriva večji del zaslona in je sestavljen iz devetih pogledov:

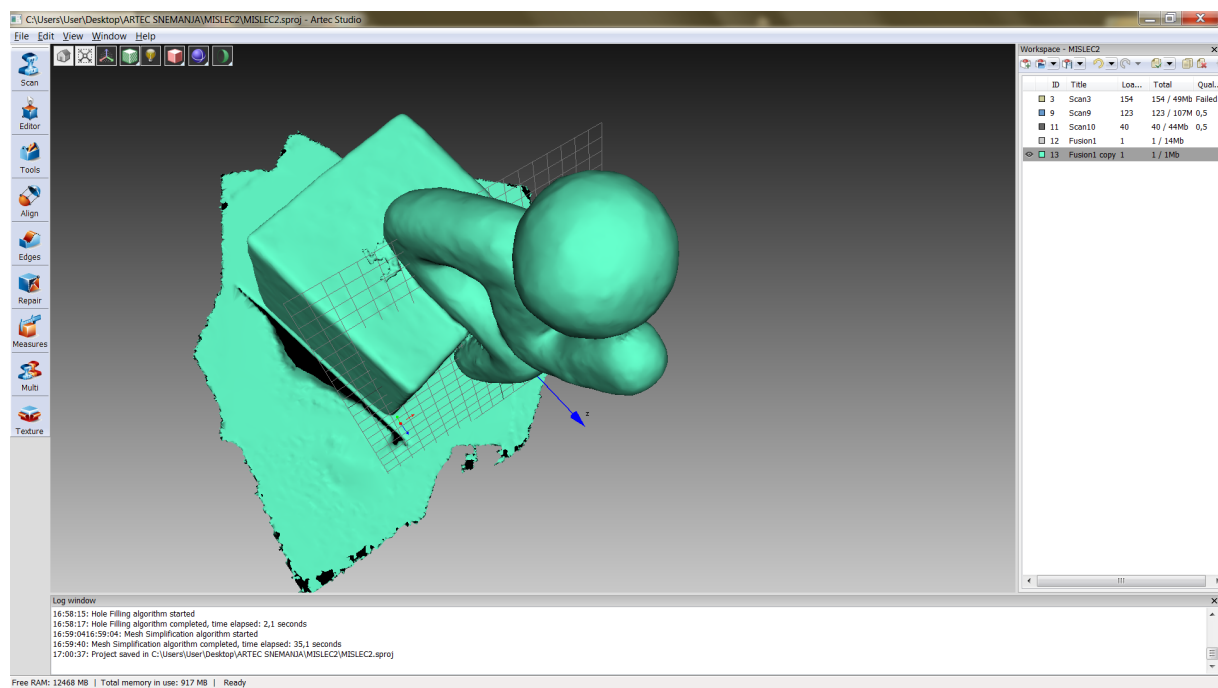
- **Scan**, povezava z merilnikom, zajemanje in snemanje podatkov
- **Editor**, urejanje zajema ali fuzije (glajenje, brisanje)
- **Tools**, orodja za registracijo, fuzijo točk v model in post-procesiranje
- **Align**, poravnava različnih zajemov skupaj (predpriprava za registracijo)
- **Edges**, polnjenje lukenj v modelu
- **Repair**, popravki v triangulaciji
- **Measures**, razne meritve (linearna (evklidska) razdalja, geodetska razdalja itd.)
- **Multi**, povezava več merilnikov
- **Texture**, vgraditev teksture v model

V tabeli 2.3 lahko vidimo, s kakšno vrsto modela operiramo v določenem pogledu: zajemom, fuzijo ali obojim. Levi modul tudi izrisuje model in omogoča izvajanje različnih operacij nad njim. Desni modul v osnovi vsebuje seznam modelov. Več o desnem modulu si lahko preberemo v poglavju 4.1.1.

Modul na dnu vsebuje dnevnik izvajanja operacij z napakami in kazalnik poteka med izvajanjem operacij. Uporaben je za ugotavljanje napak in ogled trajanja operacij.

Funkcionalnosti, ki jih ponuja program Artec Studio, so opisane v vgrajeni pomoči [1], lahko pa jih povzamemo v naslednjih točkah:

- 3D meritve negibnih in premikajočih se objektov
- urejanje (brisanje in glajenje) zajetih podatkov
- poravnava več zajemov v enega
- orodja za registracijo (končno poravnavo)
- orodje za izračun triangulirane mreže
- orodja za polnjenje lukenj, poenostavitev triangulirane mreže
- različne meritve
- izvažanje zajemov in fuzij
- lepljenje tekstur na fuzije itd.



Slika 2.2: Program Artec Studio 8. Desni modul sestavlja seznam zajemov in fuzij ter orodja za manipulacijo z njim, levi modul pa prikaz 3D modela ter orodja za zajem in njegovo manipulacijo.

Tabela 2.3: Pogledi in vrsta modela, nad katero izvajamo operacije

Pogled	vrsta modela
Scan	/
Editor	zajem
Tools	zajem
Align	zajem
Edges	fuzija
Repair	fuzija
Measures	zajem ali fuzija
Multi	/
Texture	zajem in fuzija

## 2.3 Povzetek

Artec MHT je ročni merilnik za zajem 3D podatkov in tekstur. S programom Artec Studio 8 in z merilnikom snemamo podatke, jih v programu urejamo, obdelujemo, poenostavljamo in izvažamo v veliko različnih formatov za različne namene. Merilnik MHT mora biti med zajemanjem podatkov priključen na računalnik preko dveh USB kablov, enega za prenos 3D podatkov, drugega za prenos tekstur. Prostorska in časovna zahtevnost operacij, povezanih z obdelavo 3D podatkov in tekstur je velika, zato je potrebno biti pazljiv pri nakupu delovnega računalnika.

## Poglavje 3

# Snemanje

Kot snemanje razumemo proces shranjevanja 3D podatkov, ki jih v realnem času z merilnikom merimo oz. snemamo. Rezultat procesa je oblak tridimenzionalnih točk s pripadajočimi teksturami. Texture so zajete kot navadne fotografije, ki jih algoritem prilepi na med snemanjem izračunane ploskve.

### 3.1 Predpriprava

Predpriprava je v osnovi odvisna od predmeta, ki ga želimo posneti (v nadaljevanju objekt). Pomembna je velikost objekta, število kompleksnih površin, ustreznost prostora, lokacija objekta itd. V nadaljevanju bomo spoznali vidike, na katere moramo biti pozorni, in poskušali strniti rešitve, ki smo jih z izkušnjami pri snemanju pridobili.

#### 3.1.1 Obvezna oprema

Da zajamemo 3D podatke potrebujemo:

- merilnik Artec MHT
- računalnik z nameščenim programom Artec Studio
- električno napajanje za merilnik in po potrebi tudi za računalnik

Mogoče se zdi navajanje obvezne opreme trivialno, vendar nas opominja, da je možno snemati samo predmete, do katerih lahko zagotovimo električno napajanje.

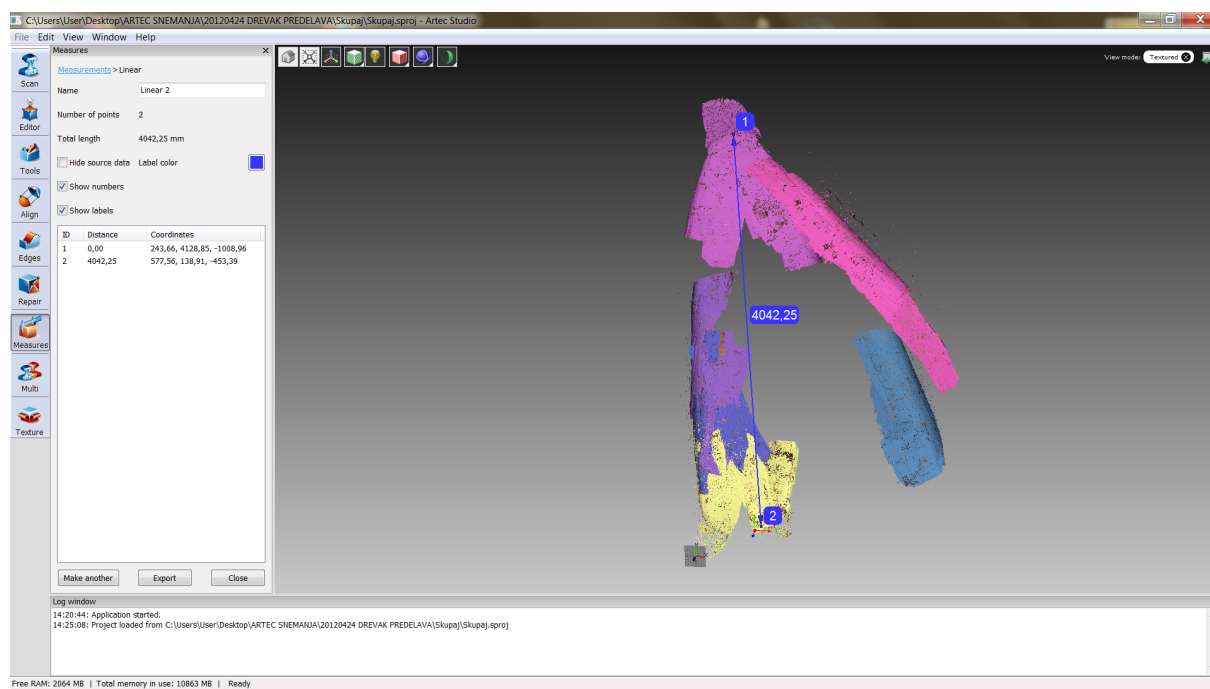
#### 3.1.2 Dodatna oprema

Pri merjenju nam pogosto pridejo prav naslednji pripomočki:

- meter
- plastelin
- premična mizica za računalnik
- fotoaparati ali kamera
- beležka
- podaljšek za elektriko

- štoparica
- stojala in lestve

Kadarkoli imamo opravka z velikimi objekti z enakomernimi površinami in podobnimi teksturami, jih ne bomo mogli zajeti naenkrat in bomo morali različne zajeme sestavljati. Takrat si lahko pomagamo z metrom. Program ima dodelan meritveni sistem, tako da bomo lahko posamezne dele sestavljali tudi glede na njihovo dolžino. Zmedo, ki lahko nastane zaradi podobnih površin, lahko vidimo na sliki 3.1, kjer sestavljamo čoln. Opazimo lahko, da težko ocenimo, ali je površina pravilno obrnjena in če je pravilno poravnana.



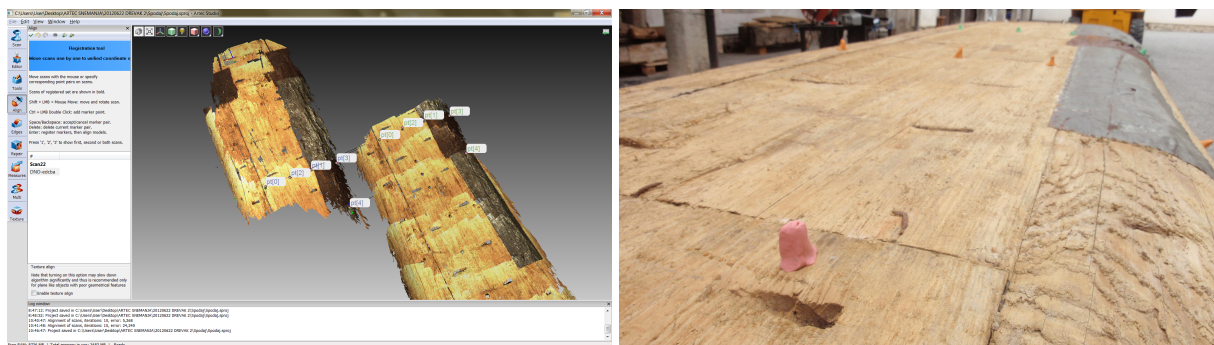
Slika 3.1: Primer uporabe merilnega sistema v programu pri sestavljanju zajemov skupaj. Če za zajeti objekt vemo, da je dolg približno 5,5 m in si lahko z razdaljo pomagamo pri ročni poravnavi.

Z oznakami, ki si jih pripravimo s plastelinom, si lahko pomagamo pri poznejši poravnavi in združevanju zajemov. Idealno je, če plastelin lepimo ob objekt, da nam ga pozneje ni potrebno posebej odstranjevati, kar je pri večjih objektih redkost. Kadar imamo opravka z ravnimi površinami brez geometrijskih značilnosti, so plastelin in podobni pripomočki pomembno orodje, ki nam pomaga sestaviti skupaj posnete zajeme.

Ker je merilnik med snemanjem povezan z računalnikom in ker mora operater, ki upravlja merilnik, nenehno spremljati potek na zaslonu, je uporabna premična mizica za računalnik. Fotoaparat ali kamera prideta prav pri večjih objektih. Vsak trenutek, ko modeliramo, nam posnetki in fotografije dajejo sliko, kakšen bo končen rezultat. Pomaga nam, da se spomnimo potek merjenja, smeri in postavitve objekta itd. Fotoaparat in kamera sta tudi standardna oprema pri dokumentaciji pri vseh naročniških projektih.

V beležko si lahko sproti zapisujemo potek snemanja, kar zmanjšuje možnost zmede, ko imamo 10 in več različnih zajemov istega objekta. Dobro si je beležiti naslednje:

- postavitve objekta (kam je obrnjen, kako ločimo levo in desno stran ipd.)
- lokacija pričetka in konca merjenja



Slika 3.2: Plastelin, ki nam pomaga pri poravnavi. Najbolj je viden pri levi točki  $pt[0]$ , saj ga ostale točke prikrivajo.

- potek snemanja (predvsem smer merjenja z obrati in sekcije objekta)
- kvaliteto posameznega zajema (ocenimo jo lahko že ob zaključku) itd.

O uporabnosti štoparice zvemo več v poglavju 3.3.2. Stojala in lestve pa pridejo prav pri večjih predmetih, kot so visoki spomeniki.

### 3.1.3 Načrt snemanja

Načrt snemanja pride prav, kadar objekt izmerimo z večjim številom zajemov (5 in več). To se lahko dogaja pogosto, saj lahko že objekt v velikosti odrasle osebe zahteva tri ali več zajemov. Dober načrt nam lahko prihrani ure poznejšega modeliranja. Če pri snemanju sodeluje več ljudi, nas to lahko prisili upoštevati enake postopke, kar zmanjša možnost zmede pri snemanju in predvsem pri poznejšem modeliranju. Nekaj točk, o katerih lahko razmišljamo vnaprej:

- izberemo primeren prostor in čas (opisano v nadaljevanju)
- objekt je dobro vnaprej razdeliti na sekcije (najlažje na skici objekta)
- zamislimo si postavitve objekta s smermi in potekom snemanja
- določimo si pravila in notacije (npr. da si sproti označujemo razne opombe pri zajemih)

#### Primer načrta

Drevak, tipična notranjska jezerska ladja dolžine približno 5,5 m, širine do 1 m in višine okoli 1 m, je bil razdeljen na sekcije, označene s črkami od a do h. Najbolj spreden del, premec, kjer so v preteklosti čoln privezali na pomol, smo označili s črko a, zadnji del, krmo, pa s črko h. Sekcije čolna smo ločili s plastelinom osmih različnih barv, od modre na začetku do rdeče na koncu.

V prvotnem načrtu je bilo, da bo vsaka takšna sekcija predstavljala en zajem, vendar se je izkazalo, da se lahko zajema po več sekcij naenkrat in je zaradi tega bil načrtovan nov potek.

Zajem naj bi trajal do 3 minute, nato se čaka 7 minut (pravilo 3/7). V tem času smo zajem umestili in uredili ter se pripravili na novega. Skupaj smo zajeli po več sekcij, ki smo jim zapisali v ime v enakem vrstnem redu kot je potekal zajem (če smo snemali od sekcije a do sekcije d, smo mu dali ime *abcd*, če smo pa snemali v obratnem vrstnem redu, pa smo ga imenovali *dcba*).

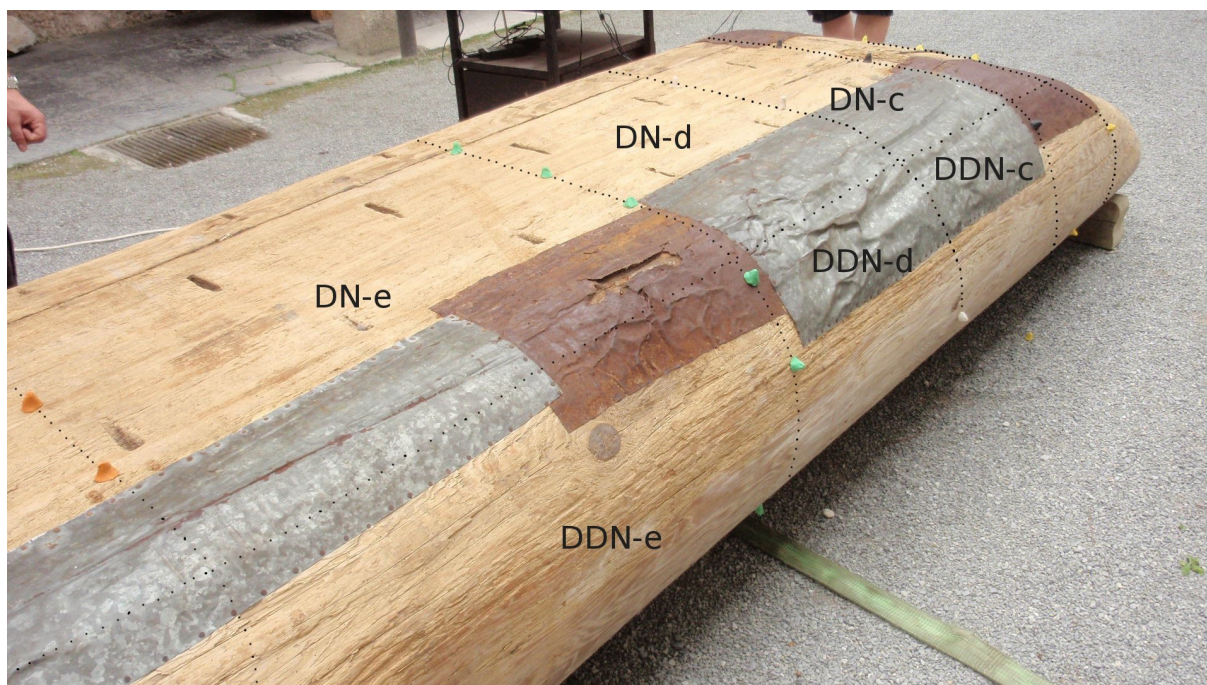
Zaradi velikosti objekta nam razdelitev na sekcije ni razkrivala dovolj informacij. Čoln je bilo potrebno enkrat obrniti, prav tako pa zajemati iz različnih smeri, zaradi česar smo potek razdelili na več območij. Območja pred obratom: ZG (snemanje od zgoraj), DBZ (desni bok iz zunanje strani), DBN (desni bok iz notranje strani), LBZ (levi bok iz zunanje strani) in LBN (levi bok iz notranje strani). Območja po obratu: DN (zajemanje spodnjega dela), DDN (desni



bok - dno) in LDN (levi bok - dno). Levi in desni del se je lahko pozneje določil le na podlagi skrbno zabeleženega poteka. Ilustracijo načrta si lahko ogledamo na sliki 3.3.

Primer zapisa zajemov:

- DDN-ab (desni bok - dno, sekciji *a* in *b*)
- DDN-bc
- DDN-de
- DDN-fgh
- DN-gh
- DN-gfed (zaradi obratnega vrstnega reda zapisa sekcij vemo, da smo naredili obrat pri snemanju)
- DN-edcba



Slika 3.3: Primer razdelitve objekta na sekcije in območja.

### 3.1.4 Izbira prostora in časa

O izbiri lokacije ni potrebno povedati veliko. Bistveno je, da imamo okoli objekta dovolj prostora za prosto gibanje (delovna razdalja), in da lahko zajemamo podatke med razdaljo od 40 cm do 100 cm (razpon zajema merilnika). Misliti moramo tudi na možnost električnega napajanja ter odsotnost raznih močnejših osvetljav. Če snemamo v zaprtem prostoru, večjih težav nimamo, drugače je na terenu.

Pri izbiri prostora in časa je pomemben dejavnik svetloba. Ob močnem soncu je skoraj nemogoče snemati objekt, saj merilnik deluje na podlagi oddajanja lastnega svetlobnega vira, ki ga lahko zmoti močan zunanji vir svetlobe. Delno se težava lahko uravnava z nastavitvijo *Object*

*brightness* med snemanjem (v pogledu *Preview*), vendar je nujno, da vsaj z umetno senco (razne rjuhe, prevleke ipd.) ob močnem soncu prekrijemo snemane dele objekta. Idealni vremenski pogoji so takrat, ko je nebo pretežno oblačno, se bliža mrak ali v zgodnjih jutranjih urah. Alternativa je snemanje ponoči, kar na merilnik nima vpliva, lahko pa vpliva na delo operaterja in ekipe.

## Postavitev objekta

Če imamo možnost premikati objekt, je zelo pomembno, kako ga postavimo. Razmisliti moramo, če bo mogoče na delovni razdalji zajeti vsako podrobnost objekta. Včasih je najbolje, če ga postavimo na rob mize in ga na tem mestu tudi obračamo. Mizo lahko seveda med modeliranjem odstranimo, zato premikanje in obračanje objekta ne predstavlja dodatnih težav.

### 3.1.5 Izbira objekta

Merilnik MHT je merilnik serije M, kar pomeni, da je primeren za srednje velike objekte (v velikosti človeške noge), vendar je z njim možno snemati tudi večje in manjše objekte. Pri večjih objektih se pogosto pojavijo naslednje težave:

- čas snemanja (5 m dolg čoln smo snemali 5h brez premora)
- čas procesiranja (registracija pol metra velikega kipca, sestavljenega iz treh zajemov, je trajala 24 ur)
- zahteva po prostoru v pomnilniku (5 m dolg objekt lahko vzame 20GB prostora v glavnem pomnilniku in na trdem disku)
- snemanje na terenu (ni jih mogoče prestaviti v zaprt prostor)
- težave pri obračanju
- težave pri poravnavi vseh zajemov skupaj (včasih je nemogoče imeti vse v pomnilniku, zato je potrebno poravnavati zajeme postopoma enega po enega)

Manjše predmete z veliko geometrijskimi podrobnostmi pa je težko modelirati, saj določenih predelov sploh ni mogoče zajeti.

Merilnik MHT ima tudi težave s človeškimi lasmi, pretežno črnimi ali svetlečimi objekti, ostrimi robovi (nož) itd.

## Neidealni in težavni predmeti

Lastnosti neidealnih predmetov:

- kosmati predeli (lasje, dlake itd.)
- tanki, ostri robovi
- veliko gladkih površin
- površine, ki jih merilnik težko osvetli
- svetleči, prozorni ali zrcalni predeli

Primeri objektov, ki jih je težko ali nemogoče zajeti:

- travnata površina
- ogledalo
- geotrikotniki in prozorna ravnila
- akvarij itd.

Problem so lahko tudi objekti, ki imajo podobne predele na večji površini, npr. tipke na tipkovnici. V takšnih primerih se merilnik ne more oprijeti značilnih geometrij, zato samo širi oz. razteguje tipke na tipkovnici. Problem lahko rešimo zelo preprosto: v okolico postavimo nekaj nepomembnih predmetov, ki pomagajo pri snemanju, nato pa jih v programu odstranimo iz modela. Pazimo, da najprej posnamemo dodatne predmete in šele nato posnamemo objekt.

Velika težava so tudi ostri robovi. Čeprav nam je mogoče uspelo zajeti celoten objekt, npr. navadno odprto napolnjeno kartonasto škatlo, lahko pride do večjih napak med registracijo, kar je razvidno na sliki 3.5.

Na sliki 3.4a vidimo skulpturo iz žic, ki jo je bilo nemogoče zajeti v stoječem položaju. Na sliki 3.4b pa vidimo skulpturo iz marmorja (makedonski svinec) in granita, ki predstavlja težavo iz vsaj dveh razlogov. Prvi razlog je gladkost materiala in pomanjkanje raznih izboklin, preko katerih bi program lahko računal geometrijo objekta. Druga težava je kontrast. Črni predmeti že sami po sebi predstavljajo problem, vendar se lahko snemanje prilagodi (nastavitev *Object brightness*). V tem primeru nastavitev težko uporabimo, saj če snemanje prilagodimo na temne objekte, se pojavi nasprotna težava pri beli površini skulpture.

Lastnosti idealnih predmetov:

- imajo grobe, nagubane površine
- so velikosti noge, obraza
- imajo predele značilnih oblik (nos na obrazu, koleno na nogi) za lažje računanje oblike in poznejšo poravnavo
- nimajo težko dostopnih predelov (npr. območje pod pisarniškim stolom) itd.

Primeri objektov, ki ustrezajo večini pogojev:

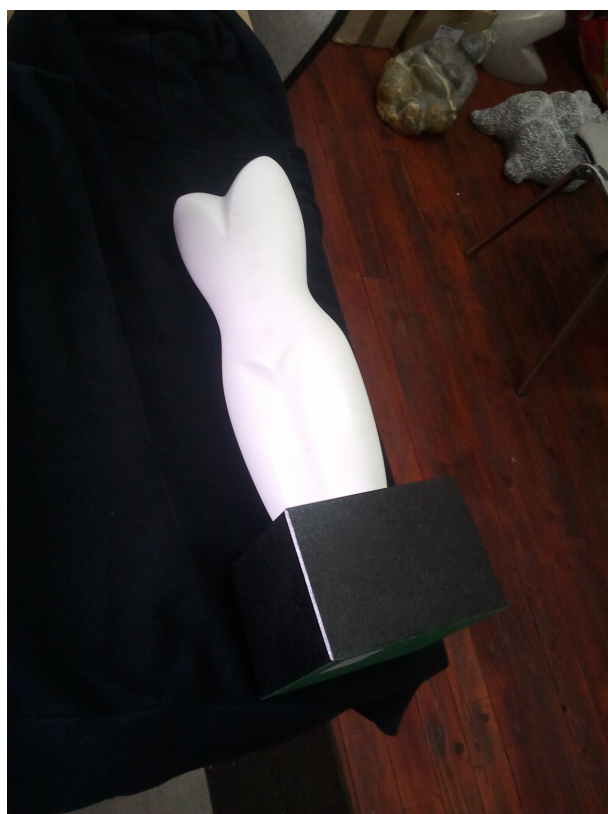
- bronaste skulpture
- manjši stroji in strojne komponente
- obraz itd.

### 3.1.6 Prilagoditve

Kot že omenjeno, je mogoče prilagoditi prostor okoli objekta, ki ga snemamo. Namesto da objekt postavimo na gladka tla, ga postavimo na prt, ki ga namenoma nagubamo. Okoli objekta lahko dodamo različne nepomembne predmete, ki jih zajamemo poleg objekta in jih pozneje odstranimo. Na ta način prilagodimo za zadostno število značilnih geometrij, ki pomagajo merilniku in programu med računanjem postavitve.



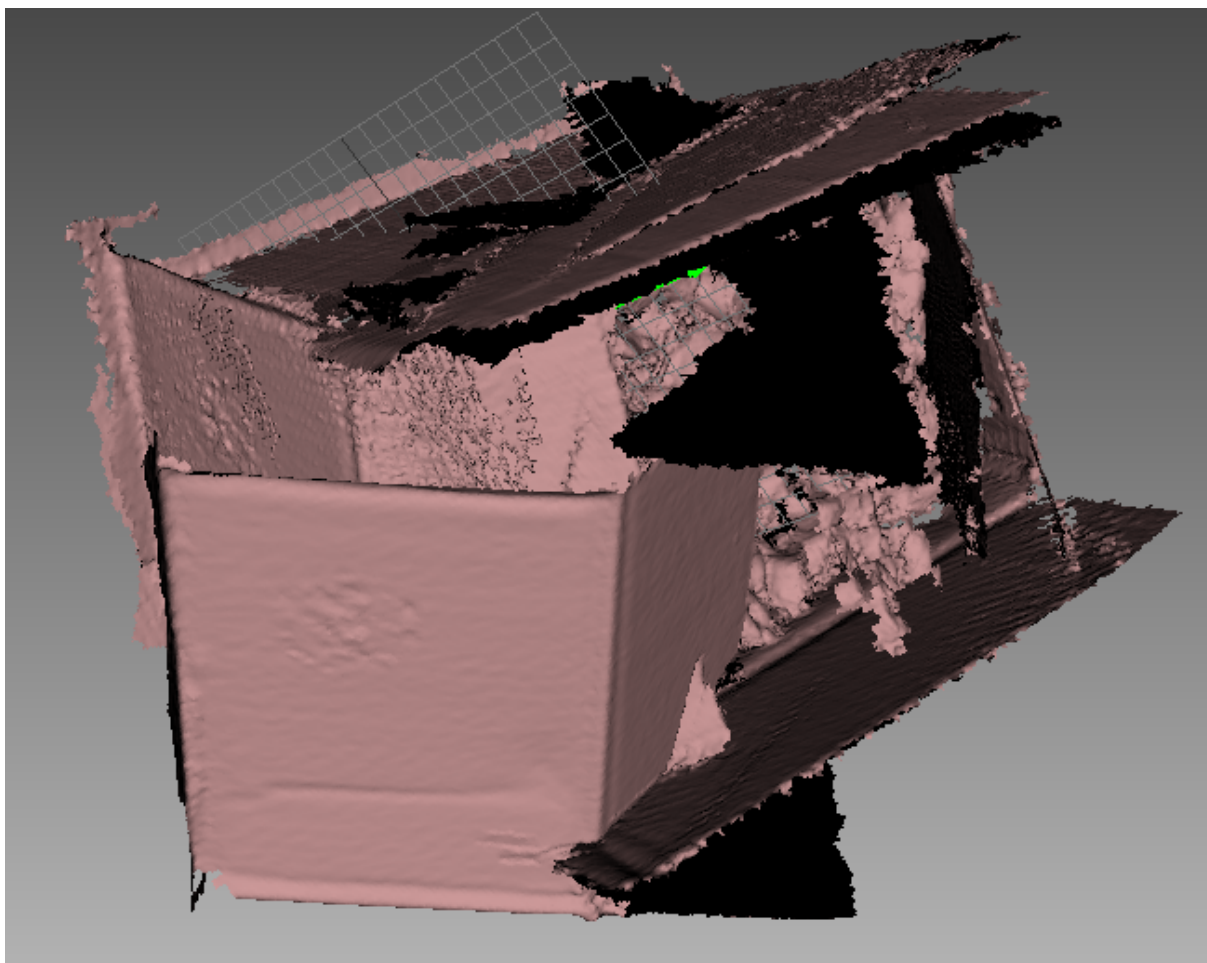
(a) Viktor Plestenjak: *Ples* (2011, žica).



(b) Metoda Maj: *Mladostnica* (2012, marmor in granit).

Slika 3.4: *Primeri težavnih predmetov.*





Slika 3.5: *Primer popačenja navadne kartonaste škatle.*

## 3.2 Snemanje - prvi koraki

Ko imamo zagnan program in priključen merilnik z obema USB kabloma, se lahko prične snemanje. Takrat je pomembno, da USB kable priključimo na nepovezane vtiče. Če recimo oboje priključimo na USB HUB, bomo lahko imeli občutne težave s hitrostjo in kvaliteto snemanja.

Najprej je potrebno pritisniti tipko *Preview*. Bistveno je, da imamo **merilnik že usmerjen v objekt** na pravilni razdalji, da lahko program postavi koordinatni sistem, na katerega potem relativno dodaja točke, drugače zaradi napak pri triangulaciji snemanje ne uspe. Ko v programu vidimo objekt in smo zadovoljni s kotom snemanja, pritisnemo tipko *Record* ali gumb na merilniku.

Ko snemamo, sproti vidimo zajeti objekt na ekranu in se glede na zajeto tudi orientiramo. Večkrat ko zajamemo neko površino, manjša je verjetnost, da smo kaj izpustili, vendar pa je posledično tudi zajem veliko večji. Ko smo zadovoljni s posnetim, prekinimo snemanje s tipko na merilniku ali z gumbom *Pause*. Zajem podatka zaključimo s pritiskom na gumb *Stop*.

## 3.3 Potek dela in dobra praksa

Najboljše rezultate dobimo, če poskušamo snemati pod kotom  $90^\circ$ . Tako zagotovimo največjo natančnost. Med snemanjem se moramo izogibati predmetom, ki spreminjajo obliko ali pozicijo (npr. roke). Merilnik mora biti oddaljen minimalno 40 cm in maksimalno 100 cm (interval lahko tudi zožimo med snemanjem). Histogram razdalj nas opozarja na levi strani okna programa Artec Studio. Za najboljšo natančnost se morajo razdalje gibati približno na sredini histograma, kjer je odtenek zelene barve najmočnejši.

### 3.3.1 Gibanje merilnika

Ko merilnik ročno premikamo, moramo vedno opazovati zaslon na računalniku, ki ima odprt program Artec Studio. Pozorni moramo biti, če prihaja do izgube sledi (več v poglavju 3.4) ali pa na nepravilno širjenje objekta. Glede na kvaliteto zajetega, premikamo in obračamo merilnik po prostoru. Gibi morajo biti čimbolj monotoni. Ko opazimo izgubo sledi, se moramo počasi vrniti na pozicijo, kjer je merilnik pravilno snemal. Če se med snemanjem bliskavica pogosteje pojavi, moramo na tistem mestu malo počakati. Prav tako ne smemo predolgo snemati isto površino, saj tako po nepotrebnem povečujemo velikost zajema v pomnilniku.

### 3.3.2 Pravilo 3/7

Pravilo 3/7 narekuje, da po 3 minutah snemanja merilnik nadaljnjih 7 minut počiva. Tako po besedah Artec Group [1] povečujemo življenjsko dobo svetlobnega vira na merilniku, ki se ob obremenitvah med snemanjem počasi uničuje.

Zato ima program vgrajen varnostni mehanizem, ki po 5 minutah snemanja prekine zajem. V takšnih primerih nam pride prav stoparica, ki nas na bližajočo prekinitev opozori. Po nekaj urah snemanja je dobro za daljši čas merilnik ugasniti, da se ohladi.

### 3.3.3 Manjši negibni objekti

Med manjše objekte štejemo vse tiste, ki jih lahko zajamemo z eno meritvijo, tako da se shranijo v en zajem (torej maksimalno 3 minute snemanja, če upoštevamo pravilo 3/7).

Pozorni moramo biti, da zajamemo vse podrobnosti objekta. Iz stališča poznejšega urejanja in procesiranja podatkov je bolje, če neustrezen zajem zberemo in snemanje ponovimo. Lahko pa seveda zajeme poravnamo in registriramo skupaj, odvisno od naših potreb.

### 3.3.4 Večji negibni objekti

Med večje objekte štejemo vse tiste, ki jih moramo zajeti z več meritvami (torej je 3 minute snemanja premalo). Če smo naredili načrt, ga poskušamo čim bolj strogo upoštevati, sicer pa ga sproti sestavljamo. Pri večjih objektih je še posebej pomembno, da smo pozorni na vse podrobnosti, saj jih veliko lažje izpustimo. Določene luknje je mogoče pri modeliranju zapolniti, vendar s tem izgubljammo natančnost.

Najpomembnejše je, da zagotovimo, da imajo vsi zajemi objekta določen delež skupnih površin, da bomo nato lahko zajeme poravnali. Prav tako pa moramo paziti, da površin ne posnamemo prevečkrat, saj na ta način povečujemo prostorsko zahtevnost naših zajemov v pomnilniku. Pomemben pripomoček pri sestavljanju končnega modela (torej pri poravnavi zajemov) so razni značilni zunanji predmeti, na katere se lahko oprimemo pri poravnavi, in dodatki objektu (npr. plastelin), ki nam pomaga razpoznati skupne površine.

### 3.3.5 Objekti v gibanju

Z merilnikom MHT je možno snemati tudi objekte v gibanju, kar je pričakovano, saj se merilnik med snemanjem vedno giblje okoli objekta. Vendar objekta v gibanju ne smemo zamenjati za tisti objekt, ki spreminja svojo geometrijo (obliko). Tudi okolica se ne sme spreminjati.

Funkcionalnost lahko izkoristimo na več načinov. Eden je ta, da orodje, s katerim premikamo objekt, premaknemo izven dometa merilnika (dlje od 1 metra ali tudi manj, če tako nastavimo). Uporabne so lahko tudi vrtljive površine, na katere postavimo objekt. Če je objekt dovolj velik, lahko površino z njim skrijemo, sicer pa poskrbimo, da je dovolj simetrična, da merilnik ne zazna spremembe.

## 3.4 Izguba sledi

Izguba sledi pomeni, da program med snemanjem ni natančno izračunaval postavitve trenutno zajetih okvirjev. Program nas na to opozori s piskanjem in rdečim zaslonom. Neumeščeni okvirji so tako obarvani rdeče, in dokler program zanje ne najde postavitve, tako tudi ostane.

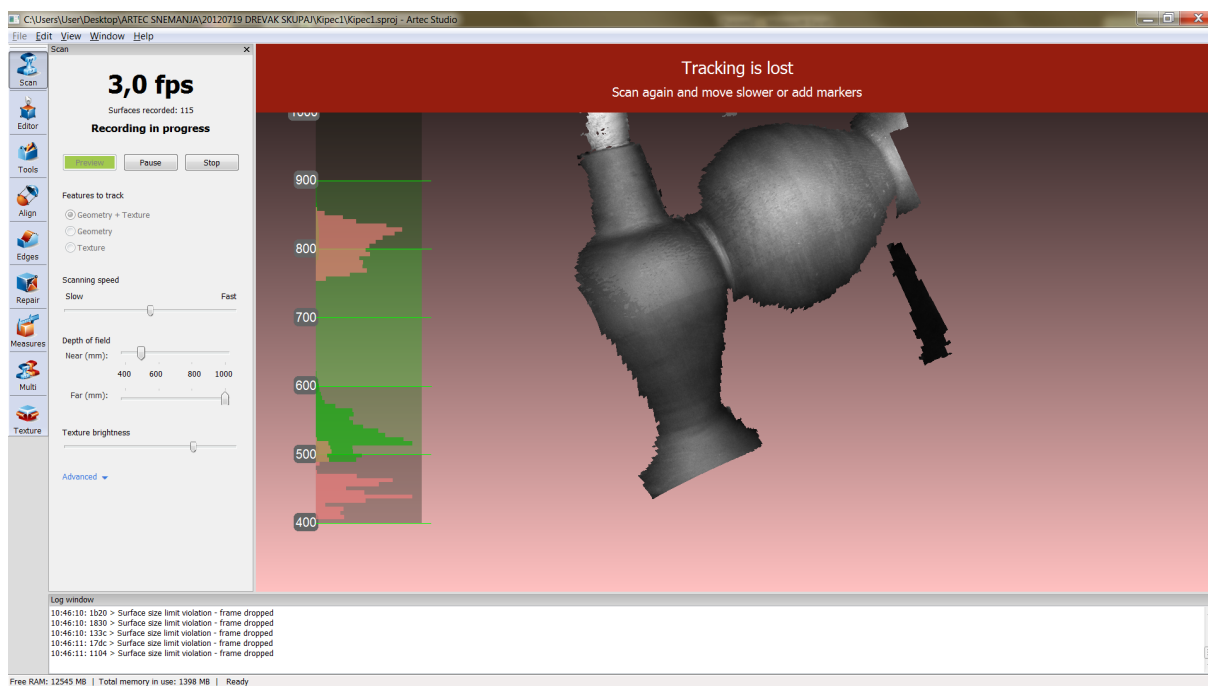
V primeru opozorila *Tracking lost* (slika 3.6) merilnik ne uspe določiti pravilne pozicije objekta, zato je snemanje pogosto potrebno ponoviti. Lahko se zgodi, da po operaterjevem snemanju okoli že posnete površine program vseeno najde sled, ampak je verjetnost uporabnosti vseh poznejših okvirjev od trenutka izgube sledi majhna. Kljub temu prejšnje snemanje ni izgubljeno. Ker smo snemanje prekinili, se novi podatki shranjujejo v nov zajem, ki pa ga je možno poravnati in registrirati s prejšnjim.

Da se izognemo izgubi sledi, moramo hitrost snemanja prilagoditi glede na našo hitrost gibanja. Pozorni smo tudi na to, da je merilnik ves čas ustrezno oddaljen od objekta. Prav tako moramo biti pozorni na to, da ne zajamemo naših rok ali nog, ali pa delov telesa katerega od drugih pomočnikov. Če je močno sonce, poskušamo objekt premakniti v senco ali ustvariti umetno senco z raznimi pripomočki. Če objekt ali predeli objekta spreminjajo svoj položaj, poskusimo to preprečiti. Če ne moremo upoštevati vseh napisanih nasvetov, moramo ponoviti snemanje, ko so pogoji bolj ugodni, ali pa preprosto zaključiti s projektom.

Če pride do izgube sledi, se je najbolje premakniti na že zajeti del, da program na novo izračuna geometrijo, nato pa ponovimo zajetje predela, kjer je prišlo do izgube, z zmanjšano hitrostjo naših gibov. Če je kriva svetloba, poskušamo zmanjšati osvetljenost objekta z nastavitvijo *Object brightness*.

Nekateri razlogi, da pride do izgube sledi:

- prevelika hitrost gibanja



Slika 3.6: Primer, ko je izguba sledi tako velika, da je potrebno snemanje ponoviti.

- merilnik preveč približamo ali oddaljimo od objekta
- ostri robovi, zaradi katerih program ne more natančno preračunati geometrije
- premočna zunanja svetloba, ki ovira natančnost in točnost snemanja
- objekti, ki spreminjajo lastno geometrijo (npr. roke, ki spreminjajo svoj položaj, ali veter, ki premika objekt)
- predmeti, ki se pojavijo v zajemu in nato izginejo (npr. kabli od merilnika, noge ali roke snemalca itd.)

### 3.5 Prilagoditve med snemanjem

**Scanning speed** Hitrost zajemanja navadno prilagajamo objektu po svojem občutku. Opazimo lahko, da ne moremo določiti točne vrednosti, prav tako hitrost zajemanja ne glede na nastavitve med snemanjem niha.

V osnovi se lahko držimo preprostega pravila: če želimo zmanjšati količino zajetih podatkov zaradi prostorskih stisk, potem počasneje snemamo objekt. Posledično mora tudi snemalec zmanjšati hitrost gibanja. Če pa moramo hitreje zajeti objekt, potem povečamo hitrost, in je tako lahko snemalec tudi hitrejši.

Objekte, ki se v vsakem primeru gibajo, četudi skoraj nezaznavno, moramo zajemati z večjo hitrostjo. Hitrost zajemanja je tudi edina nastavev, ki je neposredno povezana z načinom snemanja, hkrati pa jo je mogoče spreminjati pred pričetkom snemanja.

**Depth of field** Globina polja zajemanja je razdalja med merilnikom in objektom, kjer se podatki snemajo (razpon zajema). Maksimalna vrednost je 100 cm, minimalna 40 cm, idealna pa med 50 cm in 100 cm. Kot smo opozorjeni v vgrajeni pomoči [1], je na tej razdalji tudi natančnost



zajema najvišja. Če nimamo dobrega razloga (npr. moteči predmeti v ozadju, prostorska stiska itd.), te nastavitve ne spreminjamo.

**Texture brightness** Osvetlitev tekstur je nastavev, ki nima vpliva na zajem 3D podatkov, ampak samo na zajem texture. Z njo določimo, kako močno naj bo osvetljen objekt ob zajemu texture, enako kot bi nastavili na primer pri fotoaparatu.

**Object brightness** Osvetlitev objekta je pomembna nastavev za kakovosten zajem in smo jo skozi priročnik že večkrat omenili. Če povzamemo, je to nastavev, s katero določamo, kako močno je objekt bleščeč ali osvetljen. Pri močnih zunanjih motnjah svetlobe lahko zajem z zmanjšanjem nastavitve prilagodimo snemanju. Nastavev neposredno vpliva na intenziteto svetlobnega vira merilnika, ki projicira znan vzorec za zajem 3D oblike. Za bele, bleščeče in svetle objekte mora biti nastavev čim nižja, za črne in temne pa čim višja.

**Use** Z nastavitvijo uporabe določimo, kateri merilnik uporabljamo. Če je priklopljen samo en merilnik, se nastavi avtomatsko.

**Delay before recording** Nastavev prestavi začetek snemanja za podano število sekund.

## 3.6 Triki in nasveti

### 3.6.1 Za nemoteno snemanje

1. Po vsakem končanem snemanju sprostimo pomnilnik tako, da odložimo posnete zajeme na disk (opcija *Unload scan*, do katere pridemo z desnim klikom na zajem). Na ta način sprostimo pomnilnik za nadaljnjo snemanje.
2. Pred vsakim novim snemanjem izklopimo USB priključka merilnika in ju ponovno vklopimo.
3. Če snemamo objekt, ki ima veliko podobnih površin, v vsakem poskusu zajamemo še del okolice, na katero se bo program oprijel pri računanju oblike.
4. Če snemamo objekt z gladkimi površinami, ga lahko premaknemo na nagubano rjuho, kar bo močno pomagalo pri sprotnem računanju oblike.
5. Če se pojavljajo neutemeljene napake, težave pri snemanju, slabši zajem ipd., pogosto pomaga ponovni zagon računalnika.

### 3.6.2 Za snemanje večjih objektov

1. Pri večjem objektu se osredotočimo na njegove neznailne oblike, ki jih poskušamo zajeti pri vsakem zajemu. Če jih nima, si pomagamo s plastelinom in drugimi dodatnimi predmeti, ki jih lahko pozneje odstranimo.
2. Napake pri večjih objektih so dejstvo in se jih težko znebimo. Zato moramo biti pozorni, na katerih odsekih objekta bomo združevali zajeme. Če je to recimo obraz, bo opazovalec našega modela veliko hitreje opazil napake, kot pa če stikamo zajeme na nekem drugem, manj pomembnem delu telesa.
3. Za kosmate predele (npr. lasje) si vzamemo čas. Ker se lahko takšni predeli hitro spreminjajo (npr. veter, postavitev), jih ne smemo uporabiti za referenco pri poravnavah.

### 3.7 Povzetek

Snemanje z merilnikom MHT je enostavno opravilo, vendar se lahko pri nekoliko zahtevnejših objektih pojavijo težave. Zato v tem poglavju predstavljamo izkušnje, ki smo jih pridobili med snemanjem tako večjih, kot tudi manjših objektih.

Zelo pomembna je predpriprava. Razmisliti moramo, kakšne težave nam bo objekt povzročal in če ga bo sploh mogoče posneti. Potrebno se je vprašati kje bomo snemali, koliko prostora bomo potrebovali, kakšen bo prostor, kako močna bo svetloba itd. Težave nam lahko povzročijo tudi čisto tehnični problemi, kot je dostop do električne energije. Včasih je celo obvezno narediti načrt, da se v kopici zajemov med modeliranjem ne izgubimo.

Čeprav je snemanje enostavno, ima merilnik določene težave, na katere nas ne opozarja. Če merilnika takoj na začetku ob kliku na gumb *Preview* nimamo usmerjenega v objekt, bo program javil napako le v konzoli, ki jih brez dobrega tehničnega poznavanja ozadja ne moremo razumeti, program pa bo za nekaj časa zamrznil. Tudi na trik, da je pred vsakim novim snemanjem USB kabla dobro izključiti in ponovno priključiti, nas nihče ne opozarja.

Izguba sledi bo med uporabo merilnika napaka, ki se nam bo najpogosteje pojavila. Dobro je poznati razloge zanjo, in kako jo preprečimo. Bistveno pa je, da vemo, kaj narediti po tem, ko se pojavi.

# Poglavje 4

## Modeliranje

Tridimenzionalno modeliranje je proces kreiranja matematične predstavitve 3D podatkov. To pomeni, da pretvorimo oblak točk, ki predstavlja naš objekt, v matematično poenostavitev oz. rekonstrukcijo našega objekta. S postopkom triangulacije tako dobimo nove ploskve, ki zahtevajo veliko manj prostora in jih lahko izvažamo za različne namene. Artec Group takšne triangulirane ploskve imenuje **fuzija**. Oboje, tako fuzije kot zajeme, si lahko ogledujemo v programu, zato jih bomo pogosto obravnavali s skupnim imenom *model*.

Da do fuzije sploh lahko pridemo, moramo najprej predelati zajem. Sem spadajo postopki, kot so glajenje, odstranitev odvečnih zajetih podatkov, brisanje podvajanj, poravnava zajemov, registracija zajemov skupaj itd. Ko zajeme enkrat spustimo čez postopke registracije (ni obvezno, je pa priporočljivo), lahko ustvarimo fuzijo.

### 4.1 Prvi koraki

Miška je glavno orodje za ogledovanje modelov. S kolesčkom model približamo in oddaljujemo. Če pritisnemo in pridržimo levi miškin gumb (LMB), potem model obračamo okoli neke točke. Ta točka je v osnovi koordinatno izhodišče, vendar lahko z dvoklikom na LMB prestavimo rotacijsko točko tudi drugam. Z miškinim kolesčkom ali pritiskom desnega miškega gumba (RMB) in vlečenjem kazalca model približujemo in oddaljujemo. Model lahko premikamo s pritiskom na miškin kolesček in vlečenjem miškega kazalca.

S temi operacijami nikakor ne vplivamo na absolutno pozicijo modelov. To pomeni, da ne glede na to, katere modele imamo vidne ali naložene, obračamo vse. So tudi izjeme, kar bomo spoznali v poglavju 4.2 in 4.3.

#### 4.1.1 Desni modul

V desnem modulu nas čaka seznam vseh modelov določenega projekta. Tukaj lahko modele nalagamo in odlagamo (*load scan* in *unload scan*), prikazujemo in skrivamo (klik na oko ali prazno polje v prvem, levem stolpcu). Pomembnejša in pogosto uporabljena orodja so navedena spodaj.

**Duplicate scans** Označen zajem ali fuzija se skopira z vsemi informacijami (tudi teksturo). Oba modela sta neodvisna. Uporabno je predvsem za **varnostne kopije**, saj lahko na ta način mirno popravljamo in preizkušamo razne oblike modeliranja na varnostni kopiji.

**Adjust texture** Vsakemu zajemu lahko prilagajamo svetlost (*brightness*), zasičenost (*saturation*), kontrast (*contrast*) in popravek gamma (*gamma correction*).

**Load/Unload textures** Teksture lahko tudi odlagamo in nalagamo. Orodje je priročno, kadar urejamo velike zajeme, saj takrat ne potrebujemo tekstur, ki lahko zahtevajo preveč pomnilnika.

**Reset transformations** Opcijo uporabimo, kadar želimo transformiran zajem povrniti v prvotno stanje.

**Play** Opcija prikazuje, kako je potekalo snemanje. Uporabna je, kadar želimo opaziti izgubo sledi ali ugotoviti smer snemanja.

**Brisanje modela** Model zberemo s tipko *delete* na tipkovnici.

## Ogled posameznih okvirjev

Z dvojnim klikom levega miškega gumba na zajem si lahko ogledamo posamezne okvirje. To nam pomaga pri vrsti operacij, tako za odstranjevanje nepotrebnih okvirjev, kot tudi popravke napačnih zajemov (recimo zamikov okvirjev zaradi izgube sledi ali neuspešne celovite registracije (*Global Registration*)).

Če je okvir zapisan s krepko pisavo, potem ga program razume kot ključen okvir (*key frame*). S ključnimi okvirji si pomaga pri registraciji zajemov. Prav tako nam lahko ključni zajemi pomagajo, ko želimo izločiti nepomembne, ali pa želimo čim bolj optimalno izkoriščati pomnilnik. Namesto da naložimo celoten zajem, lahko naložimo samo ključne okvirje, in tako pomnilnik razbremenimo pri ogledovanju, ali pa poravnava (poglavje 4.3). Če ima okvir oznako T, potem nosi tudi informacijo o teksturah.

Funkcionalnost *Play* lahko simuliramo tudi tako, da kliknemo na okvir, od katerega dalje v seznamu nas zanima potek snemanja, nato pa držimo tipko SHIFT in se s tipko DOWN (dol) pomikamo po okvirjih, da jih sproti označujemo. Na ta način lahko opazimo, kdaj točno je prišlo do zamika pozicije okvirjev. Takrat se ustavimo in od zamaknjenega okvirja dalje okvirje premaknemo v nov zajem z opcijo *Move to new scan* (podobno deluje tudi *Copy to new scan*, le da označeni okvirji ostanejo v zajemu). Preden se lotimo operacij nad okvirji, je dobro narediti varnostno kopijo zajema z opcijo *Duplicate scan*.

## 4.2 Urejanje

Pogled za urejanje je najpogostejše prvo orodje, ki ga uporabimo po snemanju. Med snemanjem lahko ulovimo tudi predmete, ki jih ne želimo modelirati, ulovimo tudi t. i. šum, ki je lahko v obliki naključno razposajenih fragmentov ali celo ploskev. Neuporabne zajete točke torej zberemo z brisalcem (*Eraser*), ostre površine pa lahko tudi gladimo z *Smooth Brush*. Izvajamo lahko tudi razne transformacije, kot je premikanje, rotacija in skaliranje.

Če ima obračanje in premikanje z miško vpliv samo na koordinatno izhodišče, ki je skupno vsem modelom (torej so posledice vidne na vseh modelih), imajo orodja za urejanje vpliv samo na izbrane zajeme. Izbrani zajemi so tisti, ki so hkrati naloženi in vidni. Orodja za urejanje tako neposredno vplivajo na obliko in pozicijo modela. Če projekt shranimo in zberemo zgodovino v programu (s katero lahko dostopamo z operacijo *Undo* ali CTRL + Z), potem so naše spremembe nepopravljive.

Če sta bila objekt in okolje okoli objekta skozi celoten potek snemanja nespremenjena, lahko urejamo zajeme šele po poravnavi. Problem predstavlja spreminjajoče se okolje, saj bo ta motil algoritem avtomatske poravnave in bo lahko vrnil nepričakovane rezultate. Takrat moramo odstopanja najprej odstraniti (torej urediti) pri vseh zajemih, šele nato pa zagnati avtomatsko poravnavo.

Velikost orodja za glajenje in brisanje lahko povečujemo s kombinacijo tipk CTRL in '[' ter zmanjšujemo s kombinacijo tipk CTRL in ']'. Ker slovenska tipkovnica nima neposrednih tipk za oglati oklepaj in zaklepaj, si lahko pomagamo z namizno tipkovnico, ki jo na večini sistemov Windows najdemo v START → Vsi programi → Pripomočki → Pripomočki → Tipkovnica na zaslonu (START → All programs → Accessories → Ease of access → On-screen keyboard).

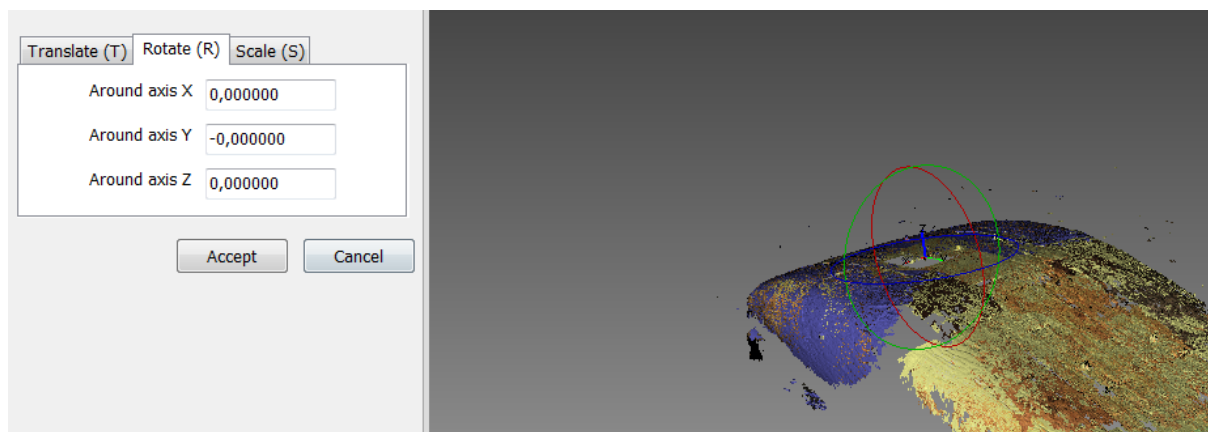
**Pred urejanjem je priporočljivo narediti varnostno kopijo zajema ali fuzije.**

#### 4.2.1 Orodje za transformacije

Transformacije nad modelom (*Transformation tool*) navadno niso potrebne, saj lahko posamezne zajeme po želji premikamo po prostoru z orodjem za ročno registracijo (v pogledu *Align*), vendar nam pa orodje ponuja še dodatno funkcionalnost: vse transformacije lahko vršimo tudi numerično (relativno, glede na trenutno pozicijo ali obliko).

**Translate** Orodje *Translate* omogoča, da premikamo zajem po vseh treh koordinatnih oseh.

**Rotate** Orodje za rotacijo nam omogoča obračanje modela okoli koordinatnih osi, kot je vidno na sliki 4.1.



Slika 4.1: Orodje za transformacije: rotacija.

**Scale** Z orodjem uravnavamo velikost merila objekta relativno glede na določen faktor. Če določimo faktor večji od 1, model povečamo po vseh oseh, sicer ga zmanjšamo.

#### 4.2.2 Radirka

Radirka ima tri možnosti radiranja:

- *2D selection*, kjer vlečemo miško po ravnini (izbrisal bo vsebino na celotni površini, ne glede na globino)
- *3D selection*, kjer vlečemo miško po 3D območju (izbrisal bo samo tisto območje, ki ga sfera orodja zaobjame)
- *Rectangular selection*, s katerim si izrišemo kvadratno površino, ki jo bo orodje izbrisalo, ne glede na globino

Najhitrejšje orodje je *Rectangular selection*, najpočasnejše pa *3D selection*. Ker je razlika občutna, je najbolje uporabiti kombinacijo vseh treh glede na naše potrebe.

### 4.2.3 Glajenje

Orodje za glajenje je privzeto samo tridimenzionalno. Čeprav se nam lahko zdi, da bo po glajenju fuzija potrebovala manj prostora v pomnilniku zaradi na videz enostavnejših ploskev, se navadno velikost v pomnilniku poveča (lahko tudi do nekajkrat več od prvotne velikosti). Orodje moramo uporabljati pravilno, saj lahko v nasprotnem primeru izgubljamo natančnost za ceno neke privlačnejše predstavitve. Gladiti je mogoče samo fuzije.

## 4.3 Poravnava in združevanje

V pogledu za ročno registracijo oz. poravnavo (*Align*) sestavljamo posnete zajeme skupaj. Ker je koordinatno izhodišče postavljeno glede na začetek zajemanja, je postavitev zajemov drugačna od postavitve delov objekta, ki so bili zajeti. Napako v postavitvi lahko omilimo na ta način, da pričnemo zajemati vedno isti del objekta, kar je izvedljivo samo pri manjših objektih. Vendar se je poravnavi pri vseh objektih, ki zahtevajo več kot en zajem, nemogoče izogniti.

V pogledu se nam na levi pojavi seznam, ki vsebuje vse zajeme, ki so kandidati za registracijo (torej so naloženi in vidni). Zajem, ki je najvišje na seznamu v desnem modulu, postane privzeto registriran (označen s krepko pisavo). Nato s klikom LMB na neregistriran zajem določimo naslednjega kandidata, ki ga bomo poravnali. Lahko si ogledujemo oba zajema (tipka 3), lahko samo registriranega (tipka 1) in neregistriranega (tipka 2).

Ko je kandidat za registracijo enkrat poravnan, se njegovo ime na seznamu na levi označi s krepko pisavo. Nato izberemo naslednjega neporavnanega in ponovimo postopek. Vsi poravnani zajemi se obnašajo kot en zajem in lahko izbiramo referenčne točke na vseh registriranih zajemih skupaj.

Če se želimo izogniti privzetemu prvemu zajemu na seznamu, mu lahko v pogledu razveljavimo registracijo z opcijo *Unmark as registered*, do katere pridemo s klikom RMB na registriran zajem. Po enakem postopku lahko razveljavimo registracijo za katerikoli drug zajem.

Če se v nadaljnjem delu vrnemo v postopek poravnave, program označi vse zajeme (razen privzetega) za neregistrirane, čeprav ležijo na pravilni poziciji. Te zajeme označimo kot registrirane z opcijo *Mark as registered*.

Postopek poravnave končamo s klikom na zeleno kljukico na seznamu na levi strani okna.

### 4.3.1 Ročna poravnava

Da zajeme enostavneje združimo in jim enostavneje poiščemo skupne točke, lahko označen neregistriran zajem ročno premikamo po prostoru. Operacije so enake tistim, opisanim v poglavju 4.1, le da pri vsaki držimo še tipko SHIFT. Če smo zadovoljni s poravnavo in (še) ne poženemo avtomatske poravnave, postopek zaključimo tako, da označimo zajeme za registrirane (opcija *Mark as registered*).

### 4.3.2 Avtomatska poravnava

Program vsebuje algoritme za avtomatsko poravnavo. Za uspešnost algoritma moramo izbrati čim več skupnih točk na neporavnanih zajemih. Glede na geometrijo zajemov in oporne točke algoritem registrira zajeme skupaj.

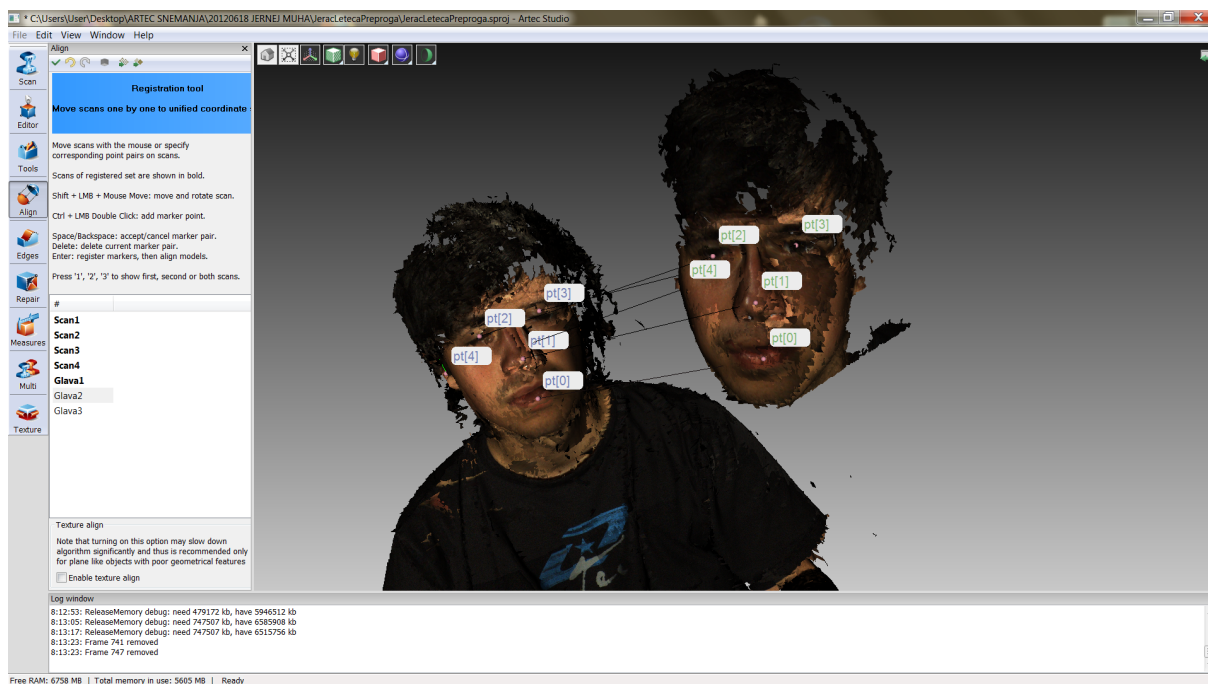
## Izbira točk

Avtomatska poravnava deluje po principu izbire točk na dveh ali več zajemih. S kombinacijo tipk CTRL in levega miškega gumba LMB določimo točke na zajemih, ki se ujemajo.

Za čim boljšo uspešnost algoritma moramo izbrati čim več enakih točk. Včasih sta dovolj že dva para točk, drugič pa jih moramo najti vsaj pet, odvisno od več dejavnikov:

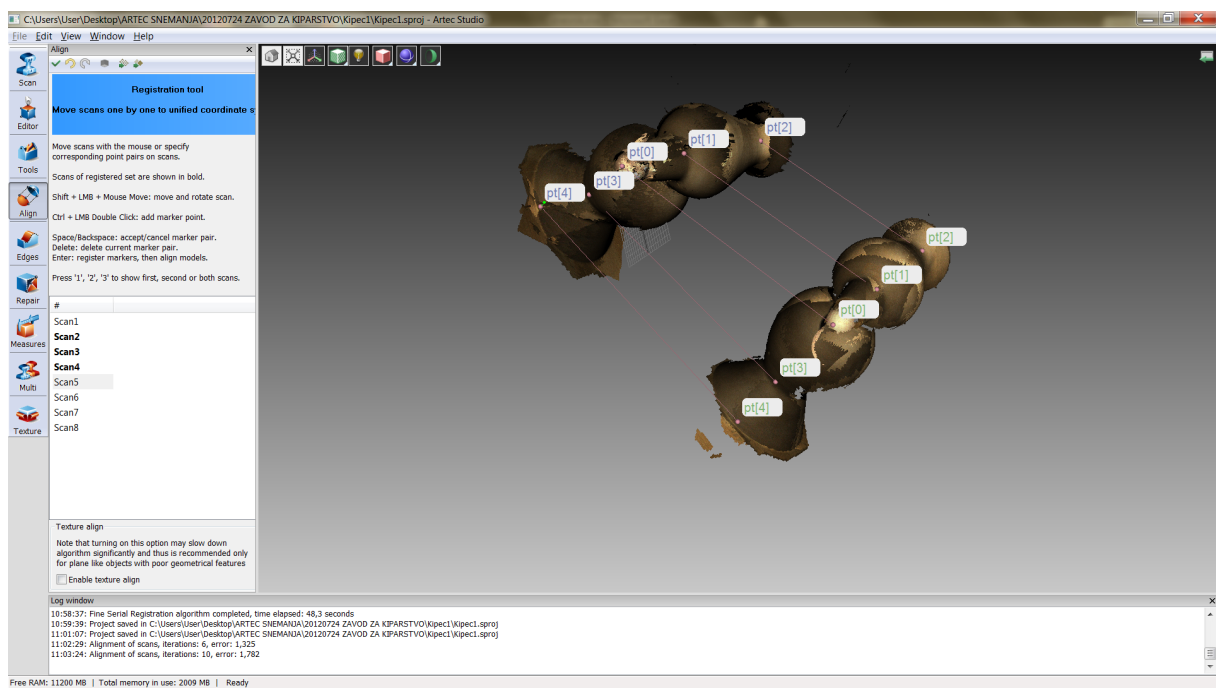
- kako blizu so točke
- kako različne so površine na zajemih, da jih algoritem loči
- kako veliko je prekrivanje pri zajemih
- na kako različnih globinah so točke

Ko najdemo dve skupni točki, ju potrdimo v par s tipko SPACE (tipka na tipkovnici za presledek). Po že potrjenih parih točk se premikamo s tipko BACKSPACE (tipka na tipkovnici za brisanje). Par točk razveljavimo s tipko DELETE. Potrditev vidimo, ko se velikost točk zmanjša. Nato lahko izberemo nov par točk, ali pa zaključimo s tipko ENTER. Tako bomo pognali algoritem za avtomatsko poravnavo, ki nas bo ob zaključku vprašal za potrditev registracije.

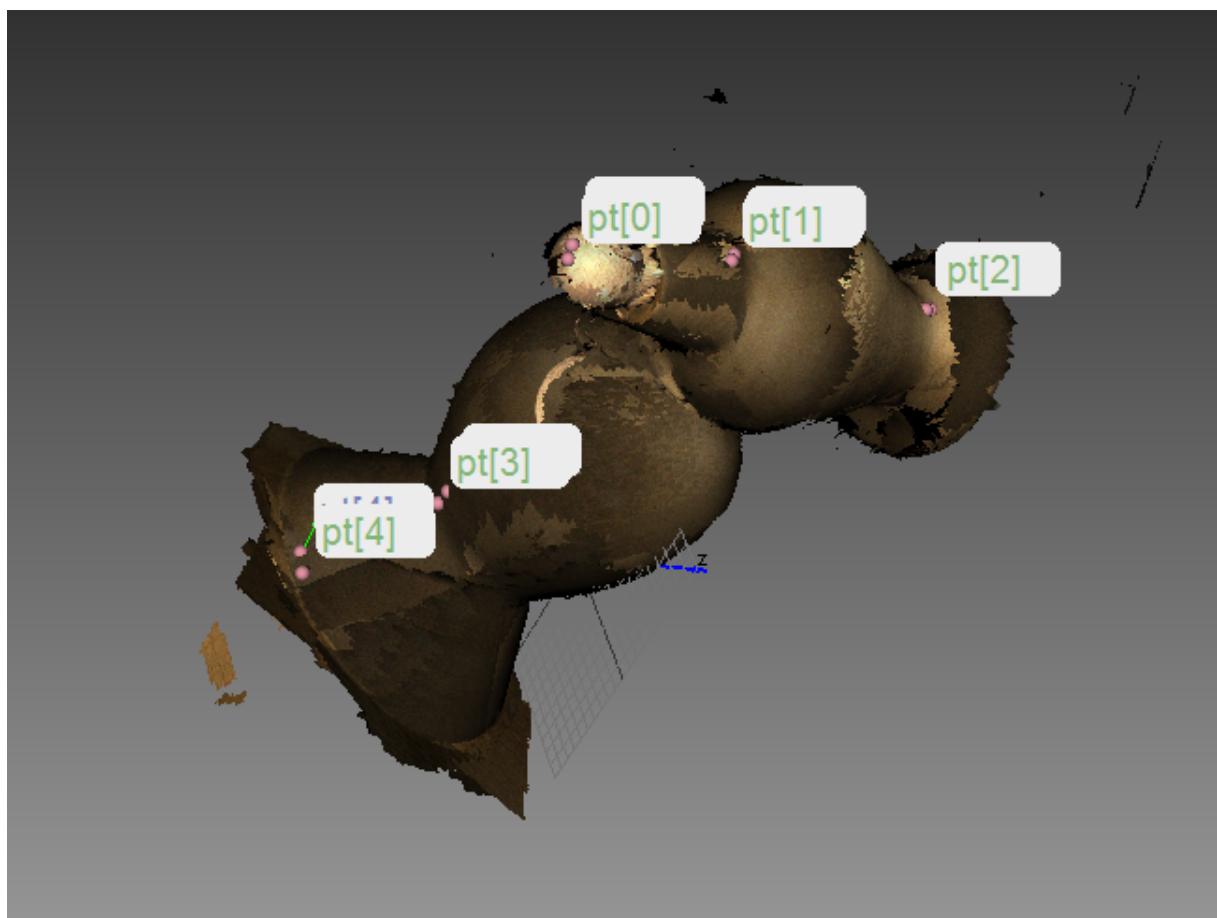


Slika 4.2: Poiščemo čim bolj značilne skupne točke na zajemih. Čeprav so na enem zajemu oči odprte in na drugem zaprte, bo algoritem zajema poravnal skupaj. Za boljši rezultat moramo nato na enem od zajemov izbrisati oči, zaprte ali odprte.

Pomembno je, da pri kompleksnejših objektih izberemo točke na različnih globinah. Na obrazu je dovolj, da izberemo oči in nos (slika 4.2), pri kakšnih drugih objektih pa bomo morali modele tudi obračati in najti skupne točke na več straneh. Pri objektih, ki imajo značilne in enostavne oblike (npr. slika 4.3), lahko skupne točke izberemo čisto po občutku, pomembno je le, da so na različnih globinah. Rezultat je lahko še vedno zadovoljiv (slika 4.4).



Slika 4.3: Pomembno je, da so točke na različnih globinah.



Slika 4.4: Zadovoljiv rezultat poravnave, ko nismo natančno določili točk.



## Poravnava s teksturami

Z opcijo *Enable texture align* omogočimo poravnavo s teksturami. Uporabna je pri zajemih, kjer ne moremo najti dovolj značilnih geometrijskih oblik, imajo pa značilne texture. Postopek avtomatske poravnave se lahko nekajkrat podaljša, vendar pa so rezultati navadno boljši.

Primerni objekti so tisti, ki imajo čimbolj barvno raznolike predele ali značilne vzorce, na katere se lahko algoritem oprime.

### 4.3.3 Prostorske težave

Kadar imamo opravka z velikimi zajemi, ko ne moremo imeti vseh zajemov skupaj naloženih v glavnem pomnilniku, se moramo njihove skupne poravnave lotiti postopoma. Najbolje je, da v pomnilnik naložimo maksimalno število zajemov, ne da bi presegli glavni pomnilnik. Nato jih poravnamo in najmanj pomembne odložimo iz glavnega pomnilnika (opcija *Unload scan*). Nato postopoma nalagamo ostale zajeme in jih poravnamo z nekaj tistimi, ki so že v pomnilniku. Ko se prepričamo, da smo poravnali vse zajeme, lahko postopek zaključimo.

## 4.4 Orodja za registracijo in procesiranje

V tem poglavju bomo govorili o orodjih, ki jih najdemo v pogledu *Tools*. Vsa orodja za registracijo izvajajo operacije na zajemih, ostala orodja pa urejajo fuzije.

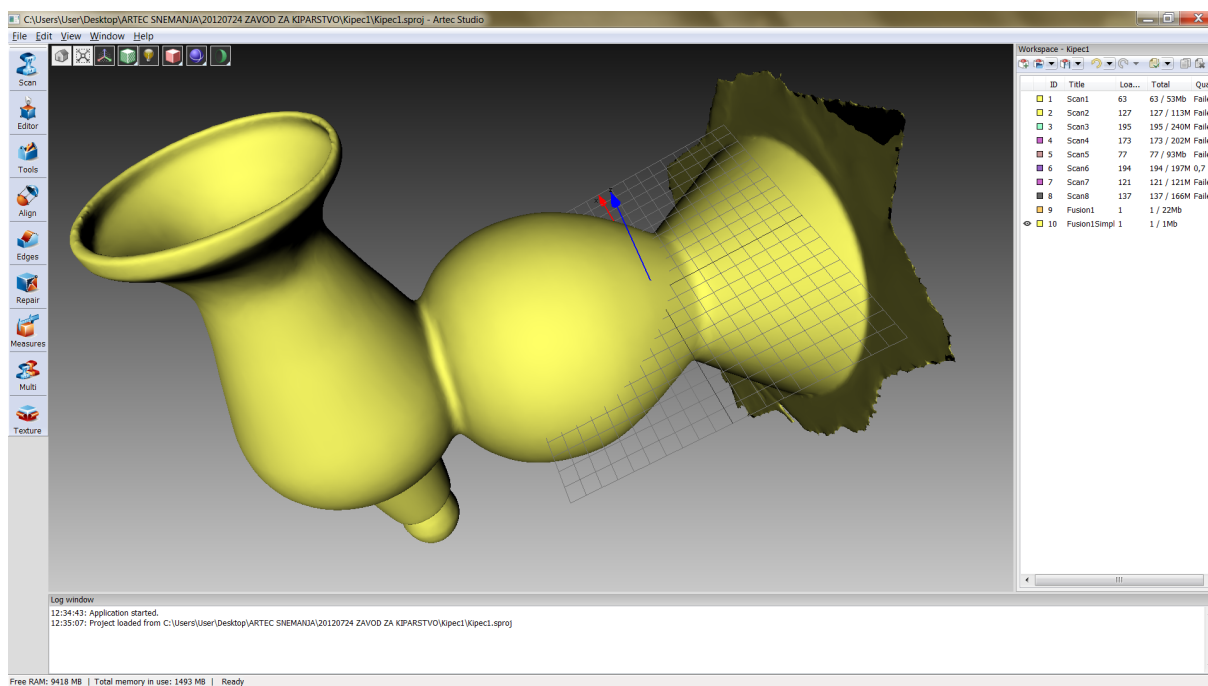
### 4.4.1 Registracija

Algoritem podrobne zaporedne registracije (*Fine Serial Registration*) se avtomatsko požene, ko v programu zapustimo pogled za snemanje (*Scan*). Je obvezen, saj popravi nekatere napake med snemanjem. Prav tako oceni kvaliteto zajemov. Tudi če je kakšen (ali celo večina) ocenjen z *Failed*, lahko na koncu po poravnavi in celoviti registraciji (*Global Registration*) dobimo zadovoljivo fuzijo (slika 4.5). Če pogleda ne zapustimo preden zapremo program ali zaključimo projekt, moramo podrobno zaporedno registracijo pognati sami za vsak zajem posebej.

Ko smo zadovoljni s poravnavo naših zajemov, se lotimo celotnega postopka registracije. Najprej poženemo grobo zaporedno registracijo (*Rough Serial Registration*). Ta je navadno hitra, za objekt v velikosti odrasle osebe potrebuje nekaj minut. Nato se lotimo ponovno podrobne zaporedne registracije. Slednja je navadno nekajkrat hitrejša od grobe. Čeprav so se nam zajemi verjetno malo razmetali, poženemo še zadnjo, celovito registracijo. Traja nekajkrat več kot groba zaporedna registracija. Za zajeme v velikosti odrasle osebe je to nekaj ur, za večje objekte celo dan ali več. Če je bilo snemanje uspešno, bo vrnila pričakovan, poravnan rezultat. Ker še vedno delamo z oblakom točk, bo model najverjetneje grob in napihnjen. Poženemo še postopek *Fusion*, ki iz modela zajemov pripravi fuzijo, ki mora delovati gladko in naravno, tako kot objekt, ki smo ga posneli.

### Nekatere nastavitve registracije

- *use\_only\_geometry* - če *Off*, potem ne upoštevamo tekstur
- *sample\_rate* - odstotek oglišč na površini, ki se jih uporabi za registracijo
- *iterations* - število iteracij algoritma (če večje, dobimo boljše rezultate za ceno hitrosti, če manjše, so lahko rezultati slabši)
- *threshold* - največja sprejemljiva razdalja med okvirji (v milimetrih)



Slika 4.5: Čeprav imajo vsi zajemi razen enega kvaliteto označeno kot *Failed*, je rezultat vseeno zadovoljiv.

- *q-quality\_level* - meja, ko se okvir označi za slabo zajet (*Failed*)
- *minimal\_distance* - minimalna razdalja med točkami v milimetrih, da jih poravnamo

#### 4.4.2 Post-procesiranje

Pojem post-procesiranje predstavlja vrsto postopkov, ko oblikujemo našo fuzijo. Program ima že pripravljene nekatere algoritme, ki so predstavljeni spodaj.

**Small Objects Filter** Algoritem nam odstrani t. i. šum, ki se je pojavil med snemanjem. To so razne točke, ki so naključno razpršene okoli našega objekta.

**Hole Filling** Algoritem zapolni nekaj najočitnejših lukenj v fuziji.

**Mesh Simplification** Algoritem poenostavi našo fuzijo. Izgubimo veliko mero natančnosti, vendar pridobimo na prostoru v pomnilniku, odvisno od geometrije objekta. Poenostavljena fuzija je primerna, če želimo podatke predstaviti na spletu ali kot format 3D pdf.

**Smoothing** Algoritem zglati ostre robove. Tudi pri glajenju izgublamo natančnost.

**Normals inversion** Algoritem obrne vse normale na ploskve fuzije, torej jih preslika čez tangentno ravnino ploskve v vsaki točki. To pomeni, da se vsa površina obrne naokoli.

### 4.5 Teksture

Informacija o teksturah je shranjena v določenih okvirjih zajema, in ko ustvarimo fuzijo iz izbranih zajemov, se ta informacija ne prenese. Teksture moramo nalepiti posebej, v pogledu

*Textures*. V pogovornem oknu, ki se pojavi, izberemo na levi fuzije, na katere lepimo teksture, na desni pa zajeme, iz katerih želimo pridobiti informacije. Za označevanje si lahko pomagamo s pridržanjem tipke SHIFT ali tipke CONTROL, tako kot se označuje v drugih programih (npr. Windows Explorer oz. Raziskovalec). Ponujene imamo tri algoritme za lepljenje tekstur.

#### 4.5.1 Razlike med algoritmi

**Generate Textures Atlas** Algoritem ustvari samo eno slikovno datoteko, katere vsebino nato lepi po modelu. Je hiter (pogosto najhitrejši) in zahteva najmanj prostora. Možno je nastaviti dimenzije slik, s čimer povečamo kvaliteto in prostorsko zahtevnost tekstur.

**Generate Triangles map** Algoritem je hiter in ustvari majhno število slikovnih datotek, zato tudi ne zahteva veliko prostora. Možno je nastaviti velikost trikotnikov in dimenzije tekstur. Večje kot so dimenzije, bolj natančna in večja je tekstura.

**Blend input textures in-place** Algoritem je najpočasnejši in njegov rezultat zahteva največ prostora v pomnilniku. Za vsak okvir, ki vsebuje informacijo o teksturi, ustvari posamezno slikovno datoteko, ki jo nato med prikazom lepi na fuzijo. Kvalitete in velikosti ne moremo nastavljanjati, saj so uporabljene posnete teksture v zajemih.

#### Primer

Razlike lahko vidimo tudi na primeru časovne in prostorske zahtevnosti lepljenja tekstur na skulpturo delfina približne velikosti 30 cm x 10 cm x 25 cm (tabela 4.1).

Tabela 4.1: Časovne in prostorske razlike algoritmov za teksture.

Algoritem	Čas (s)	Velikost (Mb)
Generate Textures Atlas	53	2
Generate Triangles map	104	38
Blend input textures in-place	3865	235

## 4.6 Uvažanje in izvažanje

Naše delo v programu Artec Studio lahko tudi izvozimo za delo v drugih projektih istega programa, ali celo za delo v drugih programih, kot je npr. komercialni program Geomagic ali odprtokodni program Meshlab.

#### 4.6.1 Izvažanje in uvažanje zajemov

Če želimo zajeme spraviti za delo v drugih projektih programa, jih izvozimo v formatu *scan*. Prednost tega izvoza je, da so vsi okvirji zajema spravljani v eni datoteki. Pri vseh drugih formatih (npr. *obj*, *wrl* itd.) se shrani v neko mapo vsak okvir posebej v svojo datoteko, kar pri večjih zajemih nanese več sto datotek. Zajeme izvažamo z opcijo *Export scans* v meniju *File*, uvozimo pa jih z opcijo *Import ...* v meniju *File*.

### 4.6.2 Izvažanje fuzij

Fuzij ne moremo uvažati oz. načeloma jih lahko kot zajem (*Import ...* v meniju *File*), vendar ne kot fuzijo. Lahko pa jih izvažamo v vrsto drugih formatov, primernih za različne programe. Ti formati so:

- Stanford Polygon File Format (*\*.ply*) - lahko uvozimo v program Mathematica
- STL File Format (*\*.stl*) - CAD programi
- VRML 1.0 File Format (*\*.wrl*)
- VRML 2.0 File Format (*\*.wrl*) - lahko nosi informacijo o teksturah
- Wavefront OBJ File Format (*\*.obj*) - lahko nosi informacijo o teksturah
- Point Cloud 3D Format (*\*.asc*)
- American Academy Of Orthotists and Prosthetists File Format (*\*.aop*)
- Ptex: Per-Face Texture Mapping File Format (*\*.ptx*) - lahko nosi informacijo o teksturah
- Direct X Binary File Format (*\*.x*)
- Direct X Text File Format (*\*.x*)

## 4.7 Ogled in predstavitev podatkov

Dobljene fuzije lahko predstavimo v vrsti namiznih programov ali spletnih storitev. V nadaljevanju bomo predstavili nekaj najboljših brezplačnih programov, ki omogočajo delo s 3D modeli.

### 4.7.1 Namizni programi

**Meshlab** Meshlab je odprtokoden program, ki omogoča uvažanje velikega števila različnih formatov, med drugim tudi *obj*, *wrl*, *ptx* itd., ki jih podpira program Artec Studio. Omogoča tudi izvažanje v nekatere formate (npr. *u3d*), ki jih program Artec Studio ne podpira. Modele lahko analiziramo, popravljamo, združujemo itd.

**Adobe Acrobat Reader** Adobov program omogoča ogled 3D modelov v svojem 3D PDF formatu. S programom ga je mogoče ustvariti tako, da uvozimo model v *u3d* ali *prc* formatu. PDF datoteke so enostavno prenosljive in si jih je mogoče ogledovati v novejših različicah programa.

### 4.7.2 Možnosti na spletu

**Sketchfab** Sketchfab je spletni portal, kjer si lahko ogledujemo ali nalagamo 3D modele. Omogoča tudi nalaganje modelov s teksturami. Je enostaven za uporabo, naslove URL 3D modelov pa je mogoče posredovati tudi drugim. Prijaviti se je mogoče z spletnimi računi vrste OPEN ID, kot je recimo Googlov račun.

## 4.8 Triki in nasveti

### 4.8.1 Splošno

1. Med katerimkoli postopkom modeliranja se lahko vračamo nazaj na prejšnje stanje z operacijo *UNDO* (kombinacija tipk CTRL + Z) in naprej z operacijo *REDO* (kombinacija tipk CTRL + Y). To velja tako za urejanje (transformacije, brisanje ...), kot tudi registracijo, poravnavo itd. Ko projekt shranimo, nas program vpraša, če želimo shraniti tudi zgodovino. Če smo prepričani, da ne bomo več razveljavljali operacij, potem izberemo *No*.

### 4.8.2 Pri urejanju in post-procesiranju

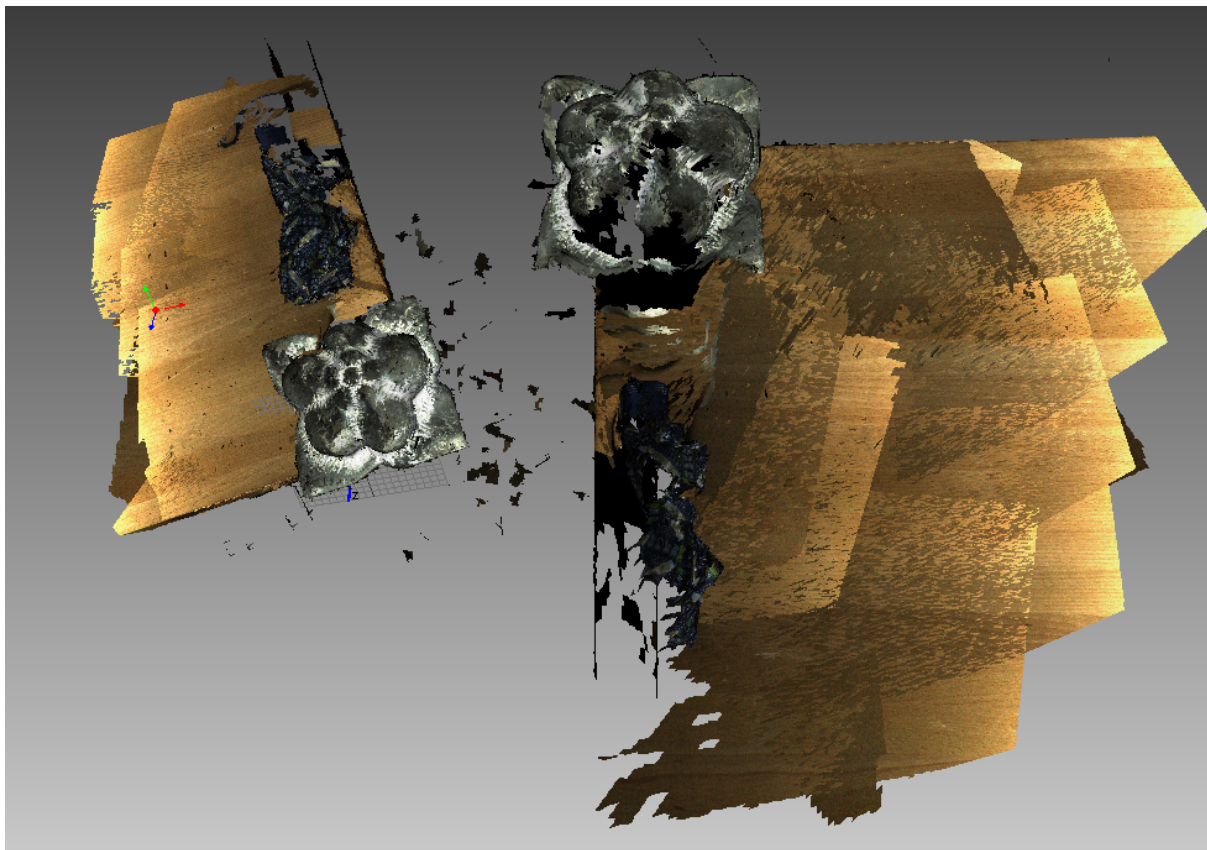
1. Ker je radiranje z *Rectangular selection* najhitrejše, poskusimo celoten model urediti največ s tem orodjem. Ker je izbira točk dvodimenzionalna, moramo paziti, da si ne zbrisemo površin, ki jih ne vidimo. Zato poskrbimo, da je zajem nagnjen proti nam. Tako zmanjšamo število skritih površin, ki bi jih lahko po pomoti zajeli z orodjem.
2. Predno zaženemo postopek registracije navadno grobo uredimo zajeme, saj se nam po registraciji lahko pojavijo novi zamiki, ki jih je potrebno pozneje v vsakem primeru popraviti. Potrebno je poskrbeti, da se znebimo vseh značilnih geometrij, ki bi lahko pri registraciji zavajale algoritem. To so predmeti, ki niso enotno postavljeni v vseh zajemih. Ko imamo zajeme enkrat registrirane skupaj, lahko urejamo vse zajeme hkrati, vendar samo toliko, da si prihranimo delo pri urejanju fuzij, ki naj bi bilo bolj natančno.
3. Če so zajemi različno obrnjeni, jih je bolje najprej ročno poravnati, da se vsaj po postavitvi že nekoliko ujema. Tako olajšamo delo algoritmu in s tem zmanjšamo možnost napake.
4. Problematične zobčaste robove, ki jih dobimo zaradi postavitve objekta na tla, lahko odstranimo pri post-procesiranju s kombinacijo orodij *Smoothing* in *Hole Filling*. Trik je uporaben samo pri gladkih predmetih, saj drugače izgubljam natančnost.
5. Manjše kot je orodje za 3D radiranje, hitrejšje je.

### 4.8.3 Pri poravnavi in registraciji

1. Če imamo opravka s simetričnim ali delno simetričnim predmetom, moramo že med snemanjem predvideti težavo pri poravnavi. Ker bomo začeli snemati pod različnimi koti, bo objekt skoraj nemogoče pravilno poravnati. Pri snemanju si tako postavimo določen predmet (v primeru na sliki 4.6 je to dežnik), ki nam pove, kako je predmet obrnjen, in ga posnamemo poleg objekta. Kako si ga postavimo in kaj nam določena pozicija pove, je odvisno samo od naših preferenc. Čeprav je dobra praksa, da najprej predmet uredimo in nato poravnamo, pri simetričnih predmetih predmet najprej ročno poravnamo do te mere, da smo prepričani v postavitev, sledi pa urejanje (odstranimo vse zunanje predmete) in avtomatska poravnava.
2. Pri simetričnih in delno simetričnih objektih lahko grobo zaporedno registracijo izpustimo, če vrača občutno slabši rezultat kakor avtomatska poravnava. Vendar če pride po grobi in podrobni zaporedni registraciji do zamikov med zajemi, celovita registracija napake navadno popravi, zato lahko grobo zaporedno registracijo izpustimo samo takrat, ko je celovita registracija neuspešna.
3. Tudi po celoviti registraciji se lahko zgodi, da kakšna površina štrli iz modela. To ne predstavlja posebne težave, saj lahko zajeme najprej uredimo tako, da odstranimo štrleče

površine, kot bi odstranili izgubo sledi. Po tem lahko poskusimo ustvariti fuzijo, in če je slabe kvalitete, ustvarimo novo po ponovno pognani celoviti registraciji.

4. Če ima rezultat celovite registracije določene površine zamaknjene, vendar zalepljene na model, moramo te površine odstraniti. Posamezne okvirje lahko odstranimo takrat, ko najdemo neustrezen zajem, lahko pa poskusimo z radirko. Po popravkih algoritma celovite registracije ni potrebno ponoviti.



Slika 4.6: *Moder režnik nam pove, kako je objekt obrnjen. Postavili smo ga tako, da držalo vedno kaže priti isti strani objekta. Če držalo ne kaže direktno v objekt, je objekt obrnjen za 90°.*

## 4.9 Povzetek

Program Artec Studio je primeren za vse faze modeliranja. Je enostaven za uporabo, relativno hiter in ponuja vrsto različnih algoritmov, opcij in orodij na enem mestu.

V začetni fazi, ko si ogledujemo sveže posnete zajeme, lahko najdemo in odstranimo po-kvarjene okvirje, ki so navadno posledica izgube sledi in drugih napak pri snemanju. Nato se lahko lotimo poravnave ali urejanja zajemov, odvisno od tega, ali se je okolje med snemanjem spreminjalo. Med urejanjem si pomagamo z različnimi možnostmi označevanja pri radiranju in različnimi vrstami transformacij (če nam ne ustreza lega ali velikost zajema). Ko smo zadovoljni z urejenim in pripravljeni na izračun fuzije, pošlemo postopke registracije.

Šele po registraciji zajemov lahko ustvarimo fuzijo. Po potrebi jo uredimo in zgladimo ter nad njo izvedemo postopke post-procesiranja. Če želimo fuzijo predstaviti ali prenašati po spletu,

jo še poenostavimo. Na fuzijo nalepimo texture po postopku, ki nam najbolj ustreza. Končen rezultat lahko še izvozimo za predstavitev ali delo v drugih programih.

## Poglavje 5

# Predlog standardne dokumentacije

Ker so 3D merilniki uporabni za dokumentiranje v različnih panogah, predlagamo standardno dokumentacijo za procese snemanja in modeliranja ter za shranjevanje zajetih podatkov.

### 5.1 Načrt snemanja

#### 5.1.1 Večji objekti

Večji objekti so tisti, za katere potrebujemo minimalno več kot 5 zajemov. Večje objekte razdelimo na sekcije in območja, kot je predlagano v poglavju 3.1.3, da zmanjšamo število težav pri modeliranju. Območja naj bodo označena z velikimi črkami glede na postavitev samega objekta, sekcije pa z malimi črkami od a do z brez šumnikov. Sekcije morajo biti neodvisne od območij, torej različna območja lahko vsebujejo iste sekcije. Območja in sekcije naj bodo ločeni z vezajem. Če območij ne potrebujemo, jih izpustimo. Če ponovimo snemanje po isti površini, pripišemo zraven zaporedno številko ponovitve snemanja za oznako sekcije.

Format zapisa imena zajema: *IME\_OBJEKTA OBMOCJE-sekcije številka\_snemanja*.

Primer imen zajemov:

- *SPOMENIK OBMOCJE1-ab*
- *SPOMENIK OBMOCJE1-cd*
- *SPOMENIK OBMOCJE2-bc 1*
- *SPOMENIK OBMOCJE2-bc 2*

Za lažje razumevanje območij in sekcij pripravimo več skic objekta. Vrstni red zapisa sekcij pa nam določa smer snemanja.

#### 5.1.2 Srednje veliki in manjši objekti

Med srednje velike objekte štejemo tiste, za katere potrebujemo manj kot 5 zajemov, zato zanje ne pripravljamo načrta. Ker zahtevajo več zajemov, uporabljamo skupen format zapisa imen zajemov. Ta se razlikuje od formata zapisa pri večjih objektih, saj ni smiselno določati območij in sekcij za tako majhne objekte. Zajeme takšnih objektov raje poimenujmo kar z imenom objekta in stranjo snemanja, ki jo relativno določimo med načrtovanjem in zapišemo z malimi črkami. Če ponovimo snemanje, pripišemo še zaporedno številko ponovitve snemanja.

Format zapisa imena zajema: *IME\_OBJEKTA stran\_snemanja številka\_snemanja*.

Primer imen zajemov:



- *KIPEC levo 1*
- *KIPEC levo 2*
- *KIPEC desno*

Ker pod manjše objekte štejemo tiste, ki jih lahko posnamemo v en zajem, zapišemo v ime zajema samo ime objekta z velikimi črkami. Po potrebi dodamo še zaporedno številko snemanja. Format zapisa imena zajema: *IME\_OBJEKTA številka\_snemanja*

## 5.2 Proces snemanja

Preden posnamemo objekt z merilnikom, ga fotografiramo iz čim več različnih strani.

Med snemanjem z merilnikom moramo upoštevati naslednja načela:

1. poskušamo zajeti čim večjo površino na eno snemanje, v primeru neuspeha pa snemanje ponovimo
2. med čakanjem sproti (pravilo 3/7) preverjamo posnete zajeme, poganjamo algoritem podrobne zaporedne registracije in poskušamo zajeme poravnati z drugimi, da sproti nadzorujemo količino zajete površine
3. beležimo čas snemanja in zapisujemo delo v dnevnik

V dnevniku beležimo potek snemanja, upoštevanje načrta in morebitne spremembe načrta. Poleg imena zajema lahko v oglatih oklepajih pripisujemo dodatne oznake, ki si sledijo po prioriteti:

- f - potrebna podrobna zaporedna registracija
- u - potrebno urejanje
- r - potrebna ročna poravnava
- a - potrebna avtomatska poravnava

Primeri: *DN-abc [fura]*, *DN-bcef [a]*, *DN-fgh [ra]*.

## 5.3 Proces modeliranja

Vse zajeme varnostno kopiramo. Po potrebi jih poravnamo in odstranimo vse nepotrebne zunanje predmete. Nato se držimo naslednjega postopka:

1. zajeme registriramo z grobo in podrobno zaporedno registracijo ter celovito registracijo
2. ustvarimo fuzijo Fusion
3. fuzijo Fusion uredimo (odstranimo podlago, še kakšen zunanji predmet)
4. čez fuzijo Fusion poženemo algoritma *Small Objects Filter* in *Hole Filling*
5. ustvarimo duplikat fuzije Fusion z imenom Fusion T
6. ustvarimo duplikat fuzije Fusion z imenom Fusion S in čez njega poženemo algoritma *Mesh Simplification* in *Smoothing*

7. na fuzijo Fusion T nalepimo teksture z algoritmom *Generate Textures Atlas* v ločljivosti, odvisni od velikosti predmeta
8. ustvarimo duplikat fuzije Fusion S z imenom Fusion ST in nanj nalepimo teksture z algoritmom *Generate Textures Atlas* v najnižji ločljivosti

Pri imenu (npr. Fusion) je pomembno samo, da je enotno skozi celoten postopek post-procesiranja. Zaželeno je, da se za ime fuzije izbere ime objekta. Da se razlikuje od imen zajemov, naj bo prva črka velika, vse nadaljnje pa majhne. Če se odločimo postopek ponoviti, ga ponovimo pod drugim imenom (npr. Fusion2) z uporabo istih oznak. Oznake nam predstavljajo naslednje pomene:

- S - *Simplified*, poenostavljena triangulirana mreža
- T - *Textures*, vsebuje teksture

## 5.4 Shranjevanje podatka

Za potrebe arhiviranja podatka izvozimo vse modele v surovi obliki (opcija *Export Scan*) v *scan* formatu. Za potrebe predstavitve izvozimo fuzijo (*Export mesh*) s teksturami v formatu *obj*, saj obstaja zelo veliko pretvornikov *obj* formata v ostale, npr. format *u3d* s programom Meshlab, ki se uvozi v *3D pdf*. Za potrebe prenašanja po spletu in spletno predstavitev pa izvozimo poenostavljeno fuzijo še v *obj* formatu.

## 5.5 Priprava statističnih informacij

Med snemanjem in modeliranjem si zapisujemo informacije, ki bi nam lahko prišle prav pri statistični obravnavi. Te informacije so:

1. začetek snemanja
2. konec snemanja
3. število zajemov pred urejanjem
4. skupno trajanje urejanja (v minutah)
5. število zajemov po urejanju
6. skupno trajanje ročne in avtomatske poravnave (v minutah)
7. trajanje grobe zaporedne registracije (v sekundah)
8. trajanje podrobne zaporedne registracije (v sekundah)
9. trajanje celovite registracije (v sekundah)
10. trajanje priprave fuzije (v sekundah)
11. velikost fuzije
12. trajanje urejanja fuzije (v minutah)
13. velikost fuzije po urejanju (v sekundah)

14. trajanje lepljenja tekstur na fuzijo
15. velikost fuzije s teksturami
16. trajanje poenostavitve fuzije
17. velikost poenostavljene fuzije
18. trajanje lepljenja tekstur na poenostavljeno fuzijo
19. velikost poenostavljenje fuzije s teksturami

Primer statistične obdelave teh informacij vidimo v tabeli 5.1.

Tabela 5.1: *Primer statistike snemanja in modeliranja. Vse velikosti so v Mb, kot jih določa program Artec Studio.*

Projekt	Kipec1	Kipec2	Kipec3
Začetek snemanja	10:20	11:12	11:35
Konec snemanja	11:10	11:28	11:49
Število zajemov pred urejanjem	7	5	3
Skupno trajanje urejanja (v minutah)	30	18	5
Število zajemov po urejanju	8	6	3
Skupno trajanje ročne in avtomatske poravnave (v minutah)	14	4	2
Trajanje grobe zaporedne registracije (v sekundah)	61,7	0	52,4
Trajanje podrobne zaporedne registracije (v sekundah)	86,4	75	151,4
Trajanje celovite registracije (v sekundah)	928,4	2734,1	3644,3
Trajanje priprave fuzije (v sekundah)	12,4	4,5	42
Velikost fuzije	48	10	10
Trajanje urejanja fuzije (v minutah)	20	10	5
Velikost fuzije po urejanju (v sekundah)	22	1	45
Trajanje poenostavitve fuzije	73,3	26,9	25
Velikost poenostavljene fuzije	0	0	1
Trajanje lepljenja tekstur na poenostavljeno fuzijo	39	166	69
Velikost poenostavljenje fuzije s teksturami	3	5	3
Trajanje snemanja	50	16	14
Trajanje modeliranja	84,02	82,11	78,4
Skupno trajanje	134,02	98,11	92,40
Porabljen čas glede na število urejenih zajemov	19,75	16,35	30,80

Za vse procese, ki jih avtomatično izvaja program Artec Studio, lahko ugotovimo trajanje v dnevniku v modulu na dnu programa.

## Poglavje 6

# Sklep

Na področju tehnologij zajema 3D podatkov se pospešeno razvijajo namenske naprave. Prav tako se razvijajo metode pridobitve 3D oblike iz fotografij ali videoposnetkov. Na spletu se pojavlja že vrsta brezplačnih rešitev, ki nam serijo fotografij izvednotijo v 3D model.

Preden se odločimo zajemati nek objekt, se moramo točno zavedati namena. Za dobro dokumentacijo in poznejše analize je pomembno, da je naš pridobljen model natančen, kar nam merilnik MHT zagotavlja do polovice milimetra.

Merilnik MHT je primeren za snemanje kulturne dediščine, umetniških skulptur, strojnih komponent, kosti, fosilov, človeka, pohištva ipd. Ni primeren za snemanje notranjih prostorov, velikih zgradb in spomenikov, večjih naravnih znamenitosti oziroma katerihkoli drugih večjih ali gladkih predmetov. Uporaben je lahko na veliko področjih, kot so:

- arheologija
- forenzika
- medicina
- industrija
- moda
- dizajn
- trženje itd.

Ker se spletne tehnologije za prikaz tridimenzionalnih podatkov pospešeno razvijajo, lahko postane ogled 3D modela artikla kmalu prisoten v vsaki e-trgovini.

Merilnik MHT in program Artec Studio sta enostavna za uporabo in ne zahtevata nobenega predznanja iz področja računalništva, strojništva ali matematike. Ponujata veliko funkcionalnosti in ne zahtevata uporabe drugih orodij ali storitev za pridobitev rezultata. Snemanje in urejanje sta relativno hitri opravili. Merilnik je glede na ostalo ponujeno alternativo zelo ugoden. Največja težava pri merilniku je njegova prenosljivost. Zahteva električen vir, tako zase, kot za delovni računalnik, in ni primeren za katerekoli vremenske pogoje.

# Terminološki slovar

**3D merilnik** (angl. 3D scanner) je naprava, ki je sposobna zajeti globinske slike, torej 3D podatke o obliki snemanega objekta.

**3D model** (angl. 3D model) je matematična predstavitev kakršnekoli tridimenzionalne površine.

**3D mreža** (angl. 3D mesh) je enostavna geometrijska predstavitev, sestavljena iz oglišč in robov, ki skupaj sestavljajo površino. Poznamo navadne mreže, ki so sestavljene iz enakih mnogokotnikov, in triangulirane mreže, ki so sestavljene iz samih trikotnikov.

**3D podatek ali 3D točka** (angl. 3D point) je podatek predstavljen s tremi komponentami (dimenzijami) koordinatnega sistema: x, y in z.

**3D resolucija** (angl. 3D resolution) merilnika je najmanjša razdalja med dvema točkama, ki je še lahko izmerjena [4].

**3D točkovna natančnost** (angl. 3D point accuracy) določa, kako blizu je točka na dobljenem matematičnem modelu dejanski točki na objektu. Računa se na podlagi standardne deviacije glede na distribucijo razdalj zajete točk [4].

**Algoritem** (angl. algorithm) je navodilo (recept), ki v končnem številu korakov pripelje do želenega rezultata [3].

**Bralno-pisalni pomnilnik (RAM)** (angl. Random Access Memory) je računalniška komponenta, ki jo procesor uporablja za glavni pomnilnik. Ima omejeno kapaciteto (danes je kapaciteta od 2GB do 16GB za vsakdanjo uporabo).

**Delovna razdalja** (angl. working distance) merilnika je odvisna od zornega kota in razpona zajema naprave. Minimalna razdalja, pri kateri merilnik Artec MHT sprejema podatke, je 40 cm, maksimalna pa 100 cm. To pomeni, da glede na dimenzije merilnika potrebujemo za najvišjo natančnost več kot 1 m prostora okoli objekta, ki ga bomo snemali.

**Format datoteke** (angl. datatype) določa, na kakšen način bo informacija predstavljena v datoteki. Načinov predstavitve je lahko veliko, v osnovi pa so lahko formati binarni (zaporedje 0 in 1) ali tekstovni (zaporedje znakov).

**Fuzija** (angl. fusion) v programu Artec Studio je predelan oblak točk, ki za predstavitev oblike uporablja triangulirano mrežo.

**Glavni pomnilnik** (angl. memory) je prostor, iz katerega centralna procesna enota jemlje ukaze in podatke. Predstavljamo si ga lahko kot kratkotrajni spomin, v katerem ima procesor vse informacije, ki jih potrebuje. Ko v glavnem pomnilniku zmanjka prostora, začne procesor podatke zapisovati na trdi disk računalnika, kar pa je časovno draga operacija, zato se delovanje sistema občutno upočasni.

**Globinska slika** (angl. range image) je slika, ki namesto informacije o barvi in svetilnosti nosi informacijo o globini.

**Hitrost pridobivanja podatkov** (angl. data acquisition speed,) pove, koliko točk merilnik zajame in shrani v eni sekundi.

**Hitrost zajema** (angl. video frame rate) nam pove, koliko okvirjev zajame merilnik v eni sekundi.

**Izpostavljenost** (angl. exposure time) pove, kako dolgo je objekt izpostavljen svetlobnemu vzorcu, preko katerega merilnik izračuna 3D obliko.

**Konzola** (angl. console) je tekstovni vmesnik programa ali sistema. Omogoča lahko vpis ukazov ali spremljanje sporočil programa, kot so opozorila, napake in dodatne informacije. V konzoli programa Artec Studio si lahko ogledujemo potrditvena sporočila, sporočila o trajanju operacij, napakah med snemanjem in operacijah ipd.

**Objekt** (angl. object) je predmet, ki ga pripravimo za snemanje, posnamemo in modeliramo v model.

**Oblak točk** (angl. point cloud) je način predstavitve 3D podatkov kot velike množice točk.

**Okvir** (angl. frame) predstavlja eno sliko v množici slik, ki skupaj sestavljajo videoposnetek. Okvir v zajemu je množica naenkrat zajetih točk, ki skupaj z ostalimi sestavlja celoten oblak točk.

**Okvirji na sekundo (fps)** (angl. frames per second) je enota za hitrost zajemanja podatkov, ki pove, koliko posamesznih posnetkov (okvirjev) je naprava (3D merilnik ali kamera) napravila v eni sekundi.

**Operacijski sistem (OS)** (angl. operating system) je program, ki olajšuje delo z računalnikom ter služi kot vmesnik med uporabnikom in računalnikovo strojno opremo [3].

**Prostorska zahtevnost** (angl. space complexity) 3D modela pove, koliko prostora zahteva model v pomnilniku.

**Razpon zajema** (angl. working distance) določa razpon minimalne in maksimalne razdalja do objekta, kjer merilnik še zajema površino objekta. Razpon zajema je specifična lastnost 3D merilnika, delovna razdalja pa je odvisna od merilnika in operaterja.

**Registracija** (angl. registration) je avtomatiziran postopek, ki natančno sestavi neporavnane zajeme v celoto [5].

**Skaliranje** (angl. scaling) je preslikava, ki poveča ali zmanjša fotografijo ali model za določen faktor, npr. faktor 0.5 zmanjša sliko na polovico, faktor 2 pa jo poveča na 200 odstotkov.

**Tekstura** (angl. texture) so fotografije, ki se nalepijo na model.

**USB HUB** je naprava, ki en USB vmesnik razdeli na več vtičev, na katere lahko priključimo naprave.

**Večjedrni procesor** (angl. multi-core processor) je procesor, ki ima dva, štiri ali več centralnih procesnih enot (jeder) na istem čipu. Vsako jedro je samostojna komponenta, ki lahko istočasno opravlja naloge kot ostala jedra, zato se lahko določene operacije izvajajo paralelno [3].

**Vrsta modela** nam pove, kako je predstavljen 3D model. Ta je lahko predstavljen kot oblak točk (zajem) ali kot 3D mreža (fuzija).

**Zajem** (angl. scan) v programu Artec Studio je rezultat enega procesa snemanja s 3D merilnikom. Je množica okvirjev, ki skupaj sestavljajo oblak 3D točk objekta.

**Zorni kot ali vidno polje** (angl. field of view) nam pove, kako veliko površino lahko naenkrat zajame merilnik.

# Literatura

- [1] Artec Group (2011). Artec 3D Studio v0.7 Users Guide.
- [2] Artec Group (2011). Artec MHT 3D Scanner, citirano 13.6.2012, dostopno na naslovu: [http://www.artec3d.com/3d\\_scanners/artec-mht](http://www.artec3d.com/3d_scanners/artec-mht).
- [3] D. Kodek (2008), Arhitektura in organizacija računalniških sistemov. *Bi-Tin*.
- [4] F. Bernardini in H. Rushmeier (2002). The 3d model acquisition pipeline. V *Computer Graphics Forum*, vol. 21, strani 149–172. Wiley Online Library.
- [5] L. Shapiro, G. Stockman (2000). Computer vision. *Prentice Hall*.